



HAL
open science

Métriques d'Analyse Objective du Bégaiement dans le contexte du bilan orthophonique

Etienne Sicard, Anne Menin-Sicard, Océane Barbera

► **To cite this version:**

Etienne Sicard, Anne Menin-Sicard, Océane Barbera. Métriques d'Analyse Objective du Bégaiement dans le contexte du bilan orthophonique. [Rapport de recherche] INSA Toulouse. 2021. hal-03298456

HAL Id: hal-03298456

<https://hal.science/hal-03298456>

Submitted on 23 Jul 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Métriques d'Analyse Objective du Bégaiement dans le contexte du bilan orthophonique

Etienne Sicard (1,2), Anne Menin-Sicard (2), Océane Barbera (2,3)

INSA-GEI, 135 Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse (1)

Laboratoire LURCO www.lurco.unadreo.org (2)

Orthophoniste à Lyon (3)

Résumé :

Dans cet article, nous présentons tout d'abord différentes approches de classification et d'échelles de notation de la sévérité du bégaiement, en décrivant un certain nombre de métriques d'analyse du discours, tels que le type et l'occurrence des disfluences, l'étude des logatomes, de la coarticulation, du triangle vocalique, de la diadococinésie et du débit de parole. Nous donnons aussi quelques pistes sur l'analyse automatisée de la parole bégayée, avant d'illustrer la typologie des principales altérations de la fluence couverts par la littérature scientifique : pauses inappropriées, blocages, répétitions sévères ou encore allongement des phonèmes. Dans une dernière partie, nous conduisons des études statistiques sur un corpus de 50 témoins et 31 sujets présentant un bégaiement léger à sévère, en se focalisant sur les caractéristiques de la diadococinésie sur une répétition de la série /PaTaKa/ et la répétition d'une phrase unique /Bonjour Monsieur Tralipau/, dont nous analysons la pertinence dans le cadre du bilan du bégaiement. Cet article traite aussi de l'évaluation objective des progrès du patient en lien avec la prise en soin orthophonique.

Mots clé : orthophonie, bégaiement, évaluation de la parole, DIADOLAB, bilan orthophonique, diadococinésie, débit de parole, Stuttering Like Dysfluency, logatomes, pauses, blocages, répétitions, allongements, phonèmes, atonie, irrégularité, instabilité, degré de sévérité

Introduction

Le bégaiement se caractérise par une expression orale perturbée par différents « accidents » de fluence tels que des répétitions, prolongations ou blocages, qui affectent la communication et peuvent se révéler un véritable handicap social lorsque le bégaiement est sévère. Le bégaiement affecte environ 1% de la population mondiale, avec une prédominance chez les hommes, et environ 5% des enfants en âge préscolaire [Bloodstein 2008] [Monfrais-Pfauwadel 2014][Estienne 2016]. Divers facteurs sont corrélés au bégaiement, tels que l'état émotionnel (stress, anxiété), mais aussi d'autres pathologies comme les retards ou troubles du développement, l'autisme, le syndrome de Gilles de la Tourette, l'hyperactivité, les profils HP, certaines anomalies du contrôle moteur de la parole, ou encore des troubles d'origine génétique.

La prise en soin du bégaiement est une des composantes importantes de l'orthophonie clinique, avec deux parties distinctes : le bilan de la sévérité du bégaiement d'une part, qui vise à faire un état des lieux objectif et à dégager des axes thérapeutiques pertinents et efficaces, et la prise en soin d'autre

part, en mettant en œuvre des approches de rééducation adaptées, avec l'aide d'outils et de méthodologies spécifiques.

Dans cet article, nous nous focalisons sur l'aspect bilan en tentant d'identifier, de décrire et de mettre en œuvre différentes métriques d'analyse objective du bégaiement. Ce domaine a intéressé de très nombreuses équipes de recherche et fait l'objet d'une abondante littérature scientifique, ainsi que d'ouvrages de référence, notamment publiés dans les années 1990-2000. De manière récente, des méta-analyses sur les publications scientifiques ont permis de sélectionner les plus significatives, afin de dégager des tendances sur lesquelles nous pouvons nous appuyer pour proposer des repères, notamment en lien avec la sévérité du trouble et la distinction entre disfluences normales et disfluences sévères propres au bégaiement. Les ouvrages de référence de [Monfrais-Pfauwadel 2014] et [Estienne 2016] détaillent l'évaluation et la prise en soin clinique en synthétisant un grand nombre d'approches de bilan, de métriques ou échelles d'analyse du bégaiement.

Nous présentons, dans une première partie, différentes approches de classification et d'échelles de notation de la sévérité du bégaiement. Nous décrivons en deuxième partie les principaux types de disfluences en tentant de distinguer les disfluences normales de celles qui sont caractéristiques des personnes qui bégaiement. Dans une troisième partie, nous listons différentes métriques d'analyse du discours, telles que l'occurrence des disfluences, les erreurs de reproduction des logatomes, la coarticulation, le triangle vocalique, la diadococinésie ou encore le débit de parole dans différents contextes de passation de bilan. Nous proposons en quatrième section des pistes sur l'analyse automatisée de la parole bégayée, avant d'illustrer au chapitre 5 les principaux troubles de fluence couverts par la littérature scientifique : pauses inappropriées, blocages, répétitions sévères ou encore allongements inappropriés des phonèmes. Enfin, dans une dernière partie, nous conduisons des études statistiques sur un corpus de 50 témoins et 31 patients issus de la pratique clinique, en se focalisant sur les caractéristiques de la diadococinésie, sur une répétition de /PaTaKa/ et la répétition d'une phrase unique /Bonjour Monsieur Tralipau/, dont nous analysons la pertinence notamment en perspective du bilan d'évolution de la prise en charge orthophonique.

Limite entre parole normale et parole bégayée

Environ 5% à 8% des enfants d'âge préscolaire présentent un trouble de la fluence avec des répétitions de sons, de syllabes, voire des répétitions de mots entiers, de prolongations, etc. Ces disfluences sont liées au processus de maturation de la coordination phono-articulatoire qui s'opère de façon non linéaire jusqu'à l'âge de 6 ans révolu. L'apparition du bégaiement infantile survient généralement entre 2 et 5 ans avec un pic entre 3 et 4 ans. L'une des études longitudinales les plus anciennes de [Andrews 1964] a porté sur le suivi de plus de 1000 enfants, indiquant une incidence du bégaiement de 4,9%. De manière similaire, [Mansson 2000] a observé sur 1000 enfants un taux d'incidence de 5,2%. Sur les 53 enfants présentant un bégaiement, 33 étaient des garçons et seulement 20 étaient des filles, répartis en bégaiement léger (25%), modéré (33%) ou sévère (42%).

Bien que les critères de diagnostic du bégaiement varient d'une étude à l'autre, un taux de disfluences au-dessus de 3% du nombre de syllabes prononcées est souvent considéré comme une limite entre la parole normale et la parole bégayée, selon la méta-analyse de [Singer 2020]. Dans les 5 ans suivant le début du bégaiement, environ 80% des enfants ont un taux de disfluences qui repasse en dessous du seuil de 3%, correspondant à une fluence normale. On constate un âge moyen de début de bégaiement de 24 à 40 mois (3 à 3 ans ½), 75% étant des garçons dans le groupe à bégaiement persistant, une occurrence de SLD autour de 15% pour le groupe persistant, 10% pour le groupe non persistant.

	<i>Groupe à bégaiement persistant</i>	<i>Groupe à bégaiement non persistant</i>	<i>Parole normale</i>	<i>Remarque</i>
<i>Age moyen</i>	40 mois	34 mois		Bégaiement persistant plus tardif
<i>Sexe</i>	74% Garçons, 26% Fille	58 % Garçons, 42% filles		Bégaiement persistant concerne beaucoup plus les garçons
<i>Antécédents de bégaiement</i>	70%	47 %		Bégaiement persistant à forte composante familiale
<i>Répétition de syllabes</i>	9%	6%	<1 %	Répétitions plus élevées pour le groupe persistant
<i>Répétition de portions de mots</i>	4%	3%	<1 %	
<i>Phonation dysrythmique</i>	2.5%	1.5%	<0.5 %	
<i>Répétition de mots</i>	3%	2.5%	<0.5 %	
<i>Stuttering Like Dysfluencies</i>	12 %	9%	<3 %	Un taux <3% correspond à la fluence normale

Table 1 : Caractéristiques générales du bégaiement d'après la méta-analyse de [Singer 2020]

Le cercle vicieux du bégaiement

L'hypothèse du cercle vicieux de la parole bégayée a été notamment décrite dans l'ouvrage disponible en ligne [Vasic 2005], chapitre 13, où les auteurs considèrent que l'effort d'articulation et le seuil de disfluente sont définis de manière inappropriée chez les personnes qui bégaiement. Très attentifs à la production de leur propre parole, les personnes qui bégaiement considèrent que même les discontinuités normales et inévitables sont des disfluences. S'instaure alors un cercle vicieux illustré par [Leclercq 2016] selon la figure 1, ou de manière plus détaillée par [Blanchet & Maza Lizzi 2008], figure 2.

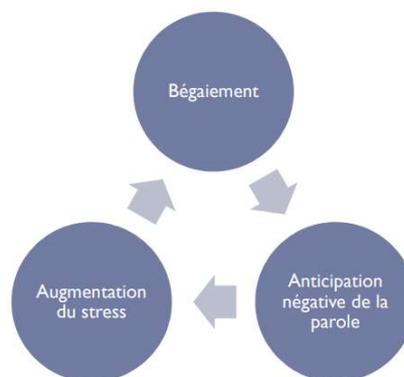


Figure 1 : Cercle vicieux du bégaiement selon [Leclercq 2016]

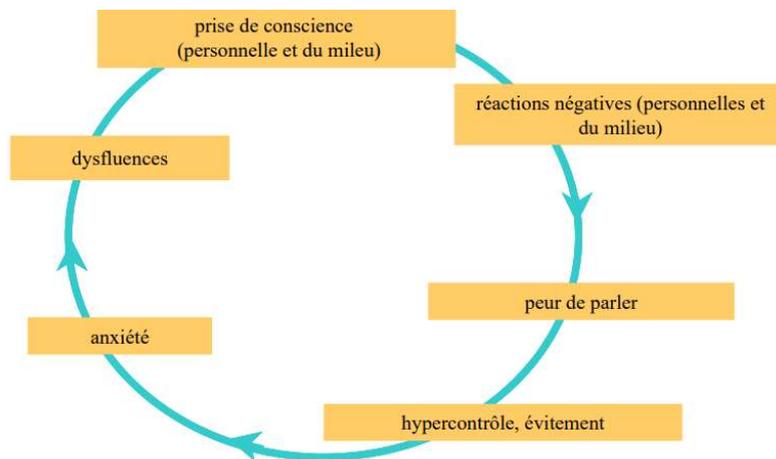


Figure 2 : Cercle vicieux bégaiement d'après [Estienne 2002], cité par [Blanchet & Maza Lizzi 2008]

Classifications du bégaiement

Il existe aussi une grande variété de classifications du bégaiement, comme l'illustre la revue de littérature de [Yairi 2006], dont nous reportons ci-dessous l'un des tableaux de synthèse.

BASE	SOUS-TYPE	AUTEUR
AGE DE DEBUT DU BEGAIEMENT	Trois niveaux d'âge	[Dostalova 1966]
DIVERSITE DEVELOPPEMENTALE	Quatre parcours	[Van Riper 1992]
PERSISTANCE-RECUPERATION	Profil génétique	[Ambrose 1997]

Table 2 : Sous-types de bégaiements en lien avec le développement de l'enfant selon [Yairi 2006]

Les quatre parcours décrits par [Van Riper 1992] et cités par [Van Hout 2002], basés sur 44 enfants bégues suivi sur le long terme peuvent être résumés de la façon suivante :

- Un profil d'enfant initialement fluents (45% des cas) qui développent un **bégaiement à fréquence variable**, avec possible récupération spontanée ou pour lesquels la prise en soin orthophonique est efficace. L'enfant prête peu attention à ses disfluences.
- Un parcours avec **disfluences précoces** (20% des cas), répétitions irrégulières, rapides et compulsives. L'enfant est conscient de son trouble.
- Un parcours à **apparition tardive** (10% des cas) avec une récupération ou une aggravation, des réactions émotionnelles importantes, des blocages en début de phrases, pauses et prolongations. L'enfant est conscient de son trouble et son comportement en est affecté.
- Un parcours à apparition tardive, avec **bégaiement sévère** (8% des cas), d'importants signes physiques secondaires, des répétitions de mots, de phrases, avec peu de modification évolutive et une résistance à la prise en soin orthophonique.

De nombreuses études que nous analyserons ci-après considèrent les scores de fluence des groupes à bégaiement persistant et bégaiement qui disparaît [Yairi 1999] [Hall 1999], tels que considérés par [Ambrose 1997].

Echelles de notation de la sévérité du bégaiement

Il existe différentes échelles d'évaluation de la sévérité du bégaiement. On retrouve souvent des échelles comportant différents niveaux que l'on peut regrouper en parole normale, bégaiement léger, bégaiement modéré ou bégaiement sévère décrit dans l'ouvrage de [Van Hout 2002], notamment dans le chapitre dédié aux troubles de la fluence et à celui de l'examen clinique. Monfrais-Pfauwadel liste en annexe de son ouvrage [2014] plus d'une vingtaine d'échelles d'analyse, échelles d'aptitudes ou questionnaires en lien avec le bégaiement. Nous illustrons ici 3 échelles de notation et précisons la notation retenue dans le logiciel DIADOLAB pour l'analyse objective des disfluences en lien avec le bégaiement.

Classification de la gravité du bégaiement de Bloodstein (BLS - Bloodstein classification of stuttering severity)

Il s'agit d'une évaluation de la gravité du bégaiement faite par les cliniciens selon quatre niveaux [Bloodstein 2008] dont un descriptif est donné par [Khodeir 2019]. On peut trouver certaines similitudes aux stades décrits par [Van Hout 2002] :

1. BLS I - **bégaiement très léger**. L'enfant n'a pas conscience de ses symptômes de bégaiement. Le bégaiement apparaît épisodiquement entre de longs intervalles de discours normal. L'enfant bégaiement lorsqu'il est excité ou bouleversé ou dans des conditions de pression communicative. Le symptôme dominant est la répétition de mot entier, plutôt en début de la phrase.
2. BLS II - **bégaiement léger**. L'enfant est conscient et se considère comme bégayant, mais il ne s'en inquiète pas ou peu. Le bégaiement est chronique avec peu d'intervalles de discours normal. Le bégaiement est principalement lié à des conditions d'excitation ou lorsque l'enfant parle rapidement. Les prolongations, blocages prédominent. Le bégaiement apparaît souvent, affectant particulièrement les noms, verbes, adjectifs, adverbes.
3. BLS III - **bégaiement modéré**. L'enfant est conscient de son bégaiement, agacé et sensibilisé à son trouble. Le bégaiement est surtout lié à des situations spécifiques : interagir en classe, parler à des inconnus ou utiliser le téléphone. Il ne procède que rarement à des évitements de situations sociales et de discours, avec peu ou pas de signes de peur ou d'embarras.
4. BLS IV - **bégaiement sévère**. L'enfant est pleinement conscient et souffre de son bégaiement. Il redoute certains phonèmes, mots, et situations. Des substitutions de mots et des évitements sont fréquents. L'enfant tente d'éviter les situations de prise parole et montre des signes de peur et de gêne.

Le Stuttering Severity Instrument (SSI) est un outil d'évaluation de la sévérité du bégaiement introduit par Riley en 1972 [Riley 2009], permettant d'étudier trois composantes distinctes : pourcentage de syllabes bégayées, estimation de la durée d'événements bégayés et signes physiques tels que des grimaces, des crispations ou des mouvements inappropriés. Sur la base de ces paramètres, l'indice de gravité du bégaiement est déterminé selon 6 niveaux : nul (normal), très léger, léger, modéré, sévère ou très sévère. Un lien avec le débit de parole a été établi par [Furquim 2002] : plus le SSI est sévère, plus le débit de parole est lent.

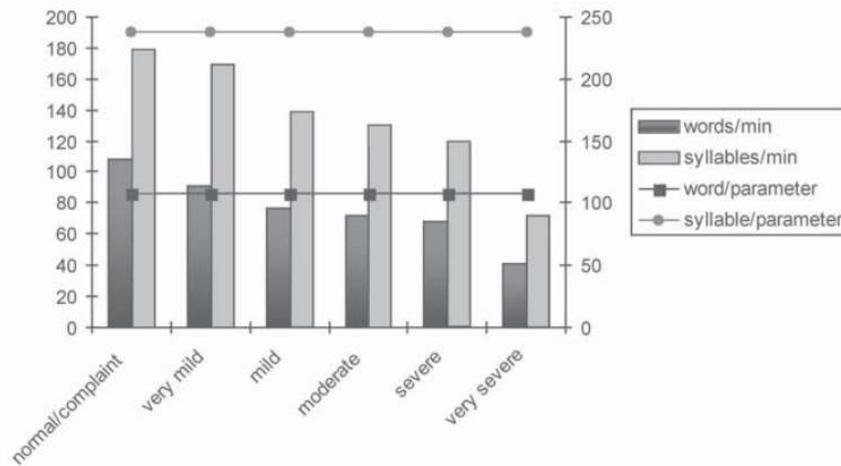


Figure 3 : lien entre débit de parole (mots et syllabes/minute) et indice de gravité de bégaiement [Furquim 2002]

L'accord inter et intra-juge dans l'évaluation de la sévérité du bégaiement à l'aide du SSI n'est que modéré, du fait notamment de différences de perception entre les juges pour des notions telles que durées des pauses ou des prolongations [Amir 2018].

L'évaluation globale de l'expérience du locuteur en matière de bégaiement (**OASES Overall Assessment of the Speaker's Experience of Stuttering**) a été développé par [Yaruss et Quesal, 2008]. L'OASES fournit une indication complète des effets néfastes du bégaiement du point de vue de la personne qui bégaié. Les différents items de l'OASES sont notés sur une échelle allant de 1 à 5, les scores plus élevés indiquant un impact négatif associé au bégaiement. Au final, on obtient un grade sur une échelle à 6 valeurs : *normal*, *mild*, *mild-moderate*, *moderate*, *moderate-severe*, *severe*.

Implémentation dans DIADOLAB

Nous codons dans DIADOLAB les pathologies de la parole selon une classification inspirée de celle de la voix par [Verdolini 2006]. Sous la rubrique P320 « bégaiement développemental », nous distinguons, en plus de la parole normale (P000), 3 niveaux de sévérité croissante.

- 0 : parole normale, codage P000
- 1 : bégaiement léger, codage P321
- 2 : bégaiement modéré, codage P322
- 3 : bégaiement sévère, codage P323.

Disfluences spécifiques au bégaiement

La parole bègue se définit selon [Dirirkova] par la présence de disfluences classiques, également présentes dans la parole des sujets normo-fluents, mais également par des accidents de parole plus sévères tels que les prolongations au-delà d'un certain seuil, des blocages ou répétitions inappropriées. Une distinction est donc faite entre,

- D'une part, les **disfluences normales** (pauses d'hésitation : 32% des disfluences chez les témoins, prolongations normales : 20% des disfluences chez les témoins),
- D'autre part, les **disfluences anormales** (blocages 19%, répétitions sévères 13% et prolongations anormales 9%, uniquement constatées chez les bègues).

Dans la fiche « Comment reconnaître une disfluente de type bégaiement ? » de l'ouvrage de [Aumont-Boucan 2019], les disfluents pathologiques sont rattachées à des accidents de paroles tels que :

- La **présence d'une tension** lors des répétitions et des blocages, parfois très longs.
- La **rapidité de l'émission** : l'enfant qui bégaiement a tendance à démarrer plus vite que ses capacités motrices le permettent.
- Une **coupure au cœur de la syllabe**. L'enfant qui bégaiement pourra rester bloqué sur une consonne sans que l'on puisse identifier la voyelle qui lui est associée. Il effectue aussi des coupures au milieu des mots, entre les syllabes.

Dans [Arbisi-Kelm 2005], 2 adultes qui bégaiement et 2 locuteurs normaux d'âge apparié ont effectué une tâche de narration, dont on a analysé les disfluents. Le tableau ci-dessous donne le détail du nombre de disfluents pour 100 mots. Les disfluents de type prolongations & pauses se produisent dans les deux groupes, mais de manière beaucoup plus rare chez les témoins. Les types de disfluents diffèrent entre les bégaiement et les non-bégaiement de deux manières.

- Pendant la prolongation, les répétitions ne se produisent que dans le discours des bégaiement,
- La combinaison de prolongation, pause et coupure a été observée seulement dans le discours des bégaiement.

Disfluente pour 100 mots	Codage	2 locuteurs qui bégaiement	2 témoins
Prolongations sévères	pr	10	1
Pauses sévères	ps	10	1
Blocages	c	4	0,2
Répétitions	t	1	0
Autres	c.p, pr.c, pr.ps, etc	5	0

Table 3 : disfluents d'après [Arbisi-Kelm 2005]

Pour les deux groupes, prolongations et pauses sont les disfluents les plus courantes, les répétitions les moins fréquentes. Dans le discours des bégaiement, plus de la moitié des disfluents ont été trouvées en dehors des mots cible tandis que pour les non-bégaiement, presque toutes les disfluents ont été trouvées sur le mot cible. Le mot cible correspond au mot prédominant avec une accentuation tonique, comme le prénom-nom dans une phrase du type /je m'appelle <nom-prénom>/. Cela peut être interprété comme l'hypothèse émise dans la partie « cercle vicieux » selon laquelle les bégaiement surveillent leur discours avec un haut degré d'exigence notamment pour produire le mot cible [Arbisi-Kelm 2005].

Disfluences pour 2mn de prise de parole	Codage	4 témoins	4 locuteurs qui bégaiant
Remplissage (Filler)	f	40	24
Pauses	ps	32	14
Prolongations	pr	19	12
Répétitions	t	5	9
Blocages	c	0	19
Répétitions sévères	3t	0	13
Prolongations sévères	3pr	0	8

Table 4 : Disfluences pour 2mn de prise de parole, pour 4 témoins et 4 locuteurs qui bégaiant selon [Didirkova 2016]

De son côté [Didirkova 2016] a analysé la parole spontanée (présentation, description de journée type) pour quatre personnes qui bégaiant et quatre témoins appariés en âge. L'analyse sur 2 minutes de prise de parole donne les résultats ci-dessous. Le remplissage (*Filler*) est un élément étranger tel qu'une voyelle neutre telle que /euh/ ou un mot tel que /et/.

Sévérité du bégaiement selon les situations

Les 6 situations de communication décrites par [O'Brian 2004] sont divisées en 2 : 3 dans le cabinet de l'orthophoniste (WC) en lecture à haute voix, discussion avec un clinicien, téléphone à un inconnu ; 3 hors du cabinet (OC) : parler avec un membre de la famille, parler avec un ami et parler au téléphone. On note que le bégaiement est le plus important au téléphone (Phone), le moins important en famille (Family) ou en lisant un texte (Reading). Les évaluations ont été faites sur une échelle allant de 1 (pas de bégaiement) à 9 (bégaiement extrêmement sévère), sur 9 hommes et 1 femme, âgés de 19 à 52 ans. Les lignes verticales représentent la différence entre les scores de l'orthophoniste (SLP) et du patient (Speaker). On peut noter sur la figure 4 une bonne concordance générale, sauf pour le patient N°7 qui juge son bégaiement modéré en toutes situations tandis que l'orthophoniste considère le bégaiement comme sévère à très sévère. Environ 8 jugements sur 10 concernant la gravité du bégaiement sont proches entre orthophoniste et patient.

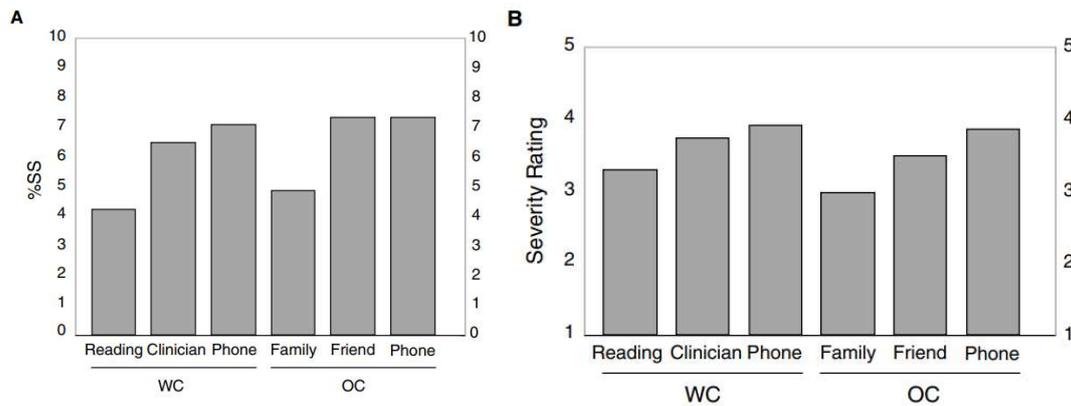


Figure 4 : Comparaison entre le % de syllabes bégayées et le score de sévérité [O'Brian 2004]

La figure 4 compare la moyenne des % de syllabes bégayées (% SS) et la moyenne de l'autoévaluation des 10 locuteurs, dans les six contextes de communication. L'auteur souligne une forte corrélation linéaire entre les scores en % SS et les scores de sévérité et considère que les 2 mesures sont largement interchangeables. L'exception concerne les cas où l'analyse sonore comportait un petit nombre de blocage et prolongations, soit un grand nombre de répétitions, par rapport à l'enregistrement complet [O'Brian 2004].

Sur un plan clinique, il est intéressant de constater que la rencontre d'une personne nouvelle ou une situation de communication « face » à plusieurs personnes représentent pour les patients les deux types de situation les plus anxiogènes. Cela a souvent pour conséquence que le bégaiement est alors soit plus marqué soit davantage masqué, selon les personnes. Les patients rapportent, dans une très grande majorité de cas, que le fait de parler devant un auditoire reste, malgré tout, la situation qui les met le plus en difficulté. En ce qui concerne le bégaiement, il est intéressant de travailler avec une échelle de situations de communication et d'attribuer à chacune un degré de difficulté (lié à l'aspect anxiogène par exemple) afin d'accompagner le patient à dépasser petit à petit ses peurs et ses conduites d'évitement.

Métriques d'analyse du bégaiement

Nous donnons ci-après une liste de métriques servant à l'analyse du bégaiement allant du pourcentage de syllabes bégayées ou de mots accrochés jusqu'à des indicateurs en lien avec le débit de parole ou la précision articulatoire.

Pourcentage de syllabes bégayées

Le % de syllabes bégayées (*Percent Stuttered Syllabs* PSS ou %SS), que l'on retrouve dans l'ouvrage fondateur de [Starkweather 1987] est un nombre compris entre zéro et 100 qui indique la fréquence relative de bégaiement dans un échantillon de parole donné. On peut considérer 0.5 % comme la limite entre parole normale et parole très légèrement bégayée (Table 5) [Manning 2013] [Amir 2018].

Il est possible de relier les métriques OASES, SSI et %SS, comme l'a fait par exemple [Manning 2013] montrant la correspondance entre le bégaiement léger (<2%), modéré (<5%), sévère (<10%) et très sévère (>10%). Le %SS dépend fortement de la tâche demandée au patient. Dans [Rito 2016], le %SS passe de 17 à 13% entre le monologue et la lecture d'un groupe de 17 adultes bégayant, et tombe à 1,5% lors d'une lecture à l'unisson avec un évaluateur. Le groupe témoin (17 adultes) est proche de 0 dans les 3 situations.

OASES	SSI	%SS
NON BEGAYE	Non bégayé	<0.5 %
LEGER	Très léger	<1.0%
LEGER-MODERE	Léger	1-2%
MODERE	Modéré	2-4%
MODERE-SEVERE	Sévère	4-8%
SEVERE	Très sévère	8-15%
		>15%

Table 5 : comparaison entre le niveau OASES, SSI et %SS d'après [Manning 2013]

GROUPE	TACHE	%SS	DEBIT DE PAROLE (SYL/MIN)
AVEC BEGAIEMENT N=17	Monologue	17	116
	Lecture	13	131
	Lecture unisson	1,5	221
TEMOINS N=17	Monologue	0	235
	Lecture	0,2	332
	Lecture unisson	0	290

Table 6 : Comparaison entre adultes qui bégaiement et groupe témoin : %SS fluctuant de 17 à 1,5% selon la tâche ; groupe témoin proche de 0 ; d'après [Rito 2016]

Intuitive et simple, la métrique %SS présente cependant une limitation dans la mesure où deux syllabes différentes, toutes deux perçues comme bégayées, peuvent avoir des caractéristiques ainsi qu'un impact sur la fluence très différents, mais sont considérées de façon identique. Cette limitation n'empêche pas une forte corrélation entre %SS (0.9) et la perception du thérapeute de la sévérité du bégaiement [Karimi 2014] et une corrélation un peu moindre (0.6-0.7) à la perception du trouble par le patient [Amir 2018] [Karimi 2014].

Stuttering Like Dysfluencies

Pour pallier aux limitations de la mesure %SS et fournir une description plus détaillée des caractéristiques des disfluences, notamment pour les enfants souffrant de bégaiement, Ambrose & Yairi [Yairi 1996] ont introduit la mesure *Stuttering Like Dysfluencies (SLD)*, qui est devenue une métrique parmi les plus couramment utilisées dans la littérature scientifique.

Sa formulation est basée sur 3 paramètres :

- Répétition de syllabes (*SS monosyllabic word repetition*), qui s'apparente au PSS
- Répétitions de parties de mots (*PW part-word repetition*)
- Phonation disrythmique, telle que la prolongation ou le blocage du son (*DP disrhythmic phonation*)

$$SLD = PW + SS + DP$$

Le SLD fait la différence entre répétitions (mot partiel ou entier) et phonations arythmiques (prolongations ou blocages), ces derniers étant considérés comme représentatifs d'un bégaiement plus sévère. On représente en général la valeur SLD pour 100 syllabes comme dans [Yairi 1996] [Yairi 1999] [Franken 2018], mais aussi parfois pour 100 mots comme dans [Pellowski 2002], ce qui peut prêter à confusion car le ratio serait alors double.

Les SLD représentent environ 70 % des disfluences totales. Une valeur de référence possible, citée par [Franken 2018] est de considérer un bégaiement possible au-delà d'une limite de 3% de SLD.

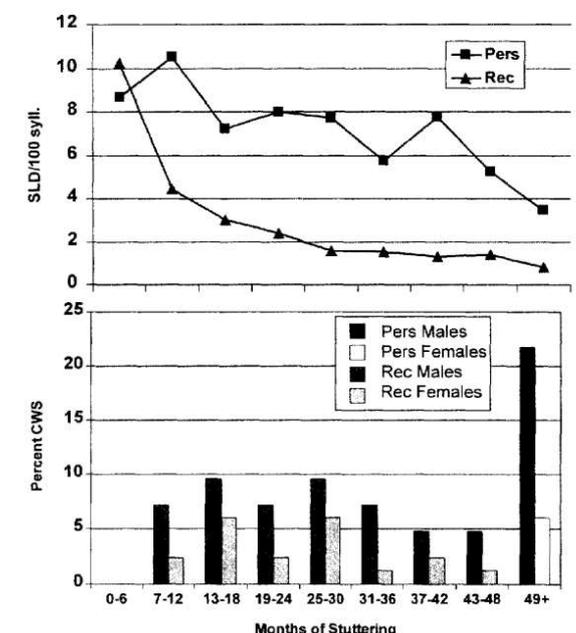


Figure 5 : pourcentage d'enfants qui bégaiement (CWS) en fonction de la durée du bégaiement, en différenciant le bégaiement persistant (Pers) et le bégaiement qui disparaît (Rec) [Yairi 1999]

L'étude de [Yairi 1999] montre une différence significative entre bégaiement persistant et celui qui disparaît spontanément au cours du temps (Figure 5). Ce graphique illustre aussi la disparité de genre dans cette pathologie. Une version plus élaborée du SLD, appelée «Weighted Stuttering-Like Disfluency» (WSLD) est décrite dans [Pellowski 2002], elle tient également compte du nombre de répétitions dans chaque événement de bégaiement (RU) et donne une part plus importante aux événements de type phonation disrythmique (DP) en le multipliant par deux. Une correspondance entre la sévérité du bégaiement, le %SS et WSLD d'après [Sawyer 2008] est donnée ci-dessous. La formule du SLD pondéré, que l'on note WSLD, est alors :

$$WSLD = RU \times (PW + SS) + 2.DP$$

SEVERITE DU BEGAIEMENT	%SS	WSLD
NON BEGAYE	<0.5 %	<4.0
LEGER	<1.0%	4-10
MODERE	1-5	10-30
SEVERE	8-15%	30-50
TRES SEVERE	>15%	>50

Table 7 : Comparaison entre le % de syllabes bégayées (%SS) et le score pondéré de disfluences du bégaiement (WSLD).

Dans le cadre de son mémoire d'orthophonie, [Bellier 2018] s'est intéressée à la limite entre normo-fluence et bégaiement chez des enfants d'âge préscolaire, en langage spontané et description d'image, d'enfants francophones normo-fluents et bégues, âgés de 3 à 6 ans. Les disfluences observées chez les enfants bégues étaient plus fréquentes, les éléments répétés plus nombreux et accompagnés de plus de signes d'effort. Les enfants bégues présentaient un pourcentage de disfluences typiques du bégaiement supérieur à 3%. Les enfants normo-fluents présentaient quant à eux plus de 10% de disfluences totales mais moins de 3% de disfluences typiques du bégaiement dans leur discours.

Dans son mémoire de Master en Logopédie, [Dewez 2019] a étudié des échantillons de langage spontané de 13 enfants de 3 ans et 15 enfants de 5 ans. Les enfants tout-venant produisaient significativement plus de disfluences non typiques du bégaiement que des disfluences typiques du bégaiement. Les disfluences totales sont autour de 14% à 3 ans, et 10% à 5 ans, avec une diminution des disfluences typiques du bégaiement en fonction de l'âge.

Pourcentage de mots accrochés

Dans l'ouvrage [Estienne 2016], un bilan en 7 étapes est proposé pour les enfants de 5 à 10 ans, et en 12 étapes pour les adolescents. Différentes épreuves sont proposées : se présenter, compter jusqu'à 10, énumérer les mois, répéter des mots, des phrases, dénommer des images, décrire des scènes, faire un récit, etc. (Figure 6). Le but est, pour chaque item de chaque épreuve, de compter les mots « accrochés », afin de calculer un pourcentage de disfluence. Le clinicien en déduit un score de sévérité de 1 à 4 pour chaque épreuve, ce qui permet de déduire un score global de sévérité du bégaiement.

1. Gravité		1	2	3	4
2. Types d'accrocs : évaluation objective (%) sur 100 mots	Répétitions	1	2	3	4
	Spasmes, blocages	1	2	3	4
	Prolongation avec ou sans tension	1	2	3	4
	Pauses intempestives	1	2	3	4
	Changement de pitch				
3. Endroit des accrocs	Voyelles	1	2	3	4
	Consonnes	1	2	3	4
	Mots-clés	1	2	3	4
	Morphèmes (articles, déterminants, etc.)	1	2	3	4
	Début de phrase	1	2	3	4
	Milieu	1	2	3	4
	Fin	1	2	3	4
4. Fréquences des accrocs		1	2	3	4
5. Mouvements associés		1	2	3	4
6. Fuite du regard		1	2	3	4
7. Maîtrise de	La voix	1	2	3	4
	La respiration (coordination pneumophonique)	1	2	3	4
	Débit	1	2	3	4
	Intonation	1	2	3	4
8. Stratégies compensatoires		1	2	3	4
9. Évolution dans le temps	Commentaires	1	2	3	4

Figure 6 : Profil de synthèse enfants/adolescents proposé par [Estienne 2016]

Dans une étude impliquant 20 adultes qui bégaièrent, et 8 sujets contrôles appariés, [Parolini & Villoing 2018] ont étudié 48 phrases produites sur la base d'un support imagé, et ont montré que les adultes qui bégaièrent produisaient significativement plus d'erreurs syntaxiques que les sujets contrôles, mais que la complexité syntaxique n'augmentait pas le nombre de disfluences.

Logatomes

La répétition de logatomes (*nonwords*), tels que /*Tralipau*/ de la phrase /*Bonjour Monsieur Tralipau*/ proposée par [Menin Sicard 2019], est une tâche globalement plus difficile pour les enfants qui bégaièrent que les normo-fluents. Dans [Hakim2004], le groupe de 8 enfants qui bégaièrent fait globalement 2 à 3 fois plus d'erreurs que le groupe d'enfants témoins, pour des logatomes de 2 à 4 syllabes (Figure 7). A noter que les logatomes de 5 syllabes mettent l'ensemble des enfants en difficulté car la répétition de ces items requiert des compétences en mémoire dite de travail pouvant interférer avec les capacités phonologiques.

Group	CWS	NS
2-Syllable nonwords	2.38 (2.26)	1.25 (1.16)
3-Syllable nonwords	5.38 (3.92)	1.29 (1.11)*
4-Syllable nonwords	9.13 (10.03)	3.88 (2.85)
5-Syllable nonwords	14.50 (10.58)	10.13 (3.64)
Total	31.4 (25.2)	16.4 (6.95)

Figure 7 : Moyenne (écart-type) du nombre d'erreurs de phonème pour des logatomes de plus en plus complexes par les enfants qui bégaièrent (CWS) et qui ne bégaièrent pas (NS) [Hakim2004]

Concernant les adultes, on peut citer les travaux de [Choopanian 2019] sur 20 adultes qui bégaièrent de 18 à 30 ans et 30 contrôles, où la tendance à faire des erreurs est 2 fois plus élevée que pour les témoins. De son côté, [Byrd 2012] ne note de différence entre 14 jeunes adultes PQB et 14 contrôles que pour des logatomes complexes (7 syllabes). Un résultat similaire est obtenu par [Coalson 2019] (12 PQB, 12 contrôles) sur la base de 96 non-mots de complexité croissante, où les logatomes de 3-4 syllabes distinguent nettement les 2 groupes, les PQB faisant 25% de fautes, les témoins 8%.

Co-articulation

Chez les personnes qui bégaièrent, la coarticulation en parole fluente est plus faible [Pendelieu-Verdurand 2014]. Les mouvements des articulateurs, notamment de la langue, sont en général plus larges et rapides dans le cas des PQB et nécessitent plus d'efforts articulatoires que pour les personnes fluentes. Une métrique de la co-articulation considérée dans la thèse de [Pendelieu-Verdurand 2014] consiste à analyser les caractéristiques du formant F2 de la voyelle en situation Consonne-Voyelle (CV). On mesure l'écart ΔF_2 (figure 8) entre le début de la voyelle immédiatement après la consonne, et la phase stable de la voyelle. Selon la consonne /b,d,g/, on observe une variation plus ou moins grande de F2, mais la différence entre les personnes fluentes et personnes qui bégaièrent est assez faible. De plus cette métrique nécessite une grande précision de mesure dans un espace de temps très court, et semble difficile à automatiser.

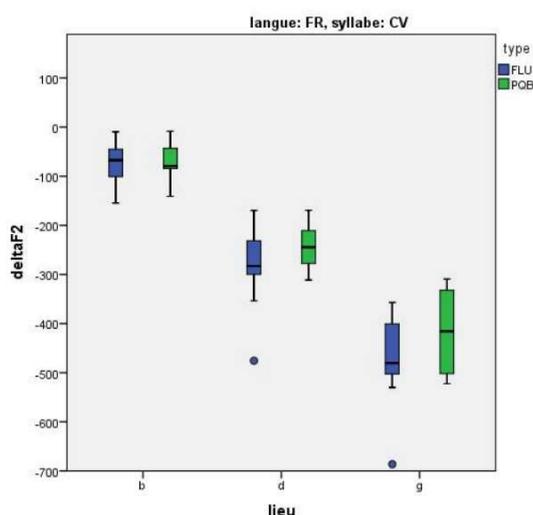


Figure 8 : variation du formant F2 obtenus chez les personnes fluentes (FLU) et les personnes qui bégaièrent (PQB), dans les syllabes /CV/ d'après [Pendelieu-Verdurand 2014]

Triangle vocalique

Il existe globalement peu d'études sur le positionnement des formants des voyelles telles que les extrêmes du triangle vocalique [Sicard 2020b] en comparant les performances des témoins et des personnes qui bégaièrent. Des analyses portant sur 15 adultes de 25 à 30 ans [Hirsch2008], révèlent une réduction de l'espace vocalique pour les bégayeurs à une fréquence de parole normale. Lorsque le taux de parole augmente, une réduction de l'espace vocalique est perceptible chez les locuteurs normaux, contrairement aux bègues dont l'espace vocalique ne se réduit pas (Figure 9).

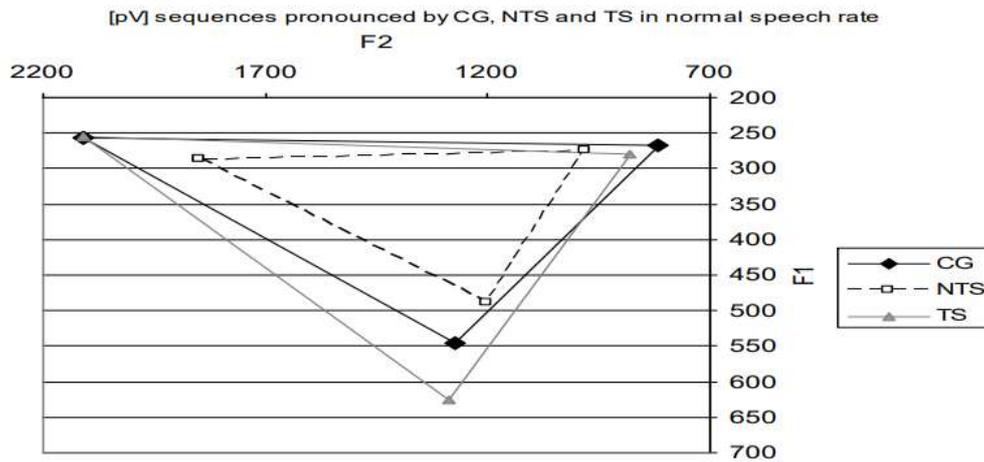


Figure 9 : Triangle vocalique du groupe contrôle (CG), personnes qui bégaièrent traitées (TS), et personnes qui bégaièrent non traitées (NTS) pour les séquences [pVp] prononcées à un taux de parole normal. [Hirsch 2008].

Une représentation inhabituelle du triangle vocalique, selon un espace $(F1+F2)/2$ vs $(F2-F1)$ a été proposée par [Blomgren 1998]. Trois groupes sont analysés : le premier composé de 5 hommes qui bégaièrent et n'ont suivi aucune thérapie, le deuxième de 5 hommes qui bégaièrent et ont suivi un minimum de 100 heures de prise en soin orthophonique, un troisième composé de 5 témoins appariés en âge. Bien que peu significatif, notamment à cause du faible nombre de personnes par groupe, le groupe témoin affiche un espace vocalique un peu plus grand que le groupe d'individus avec un bégaiement non traité (Figure 10).

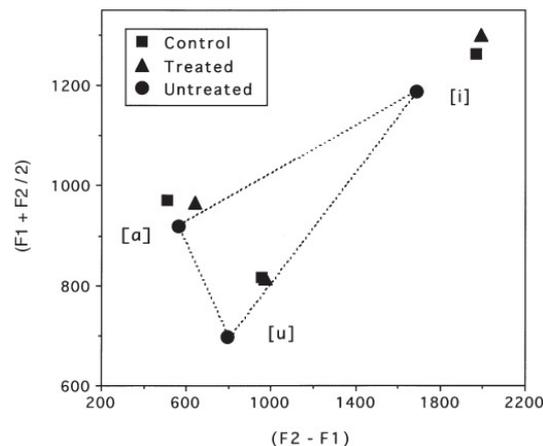


Figure 10 : Analyse des caractéristiques du triangle vocalique pour chaque type de voyelle et pour chaque groupe. Des lignes hachurées concernent le groupe bègue ne bénéficiant d'aucune prise en charge [Blomgren 1998]

Diadococinésie

L'épreuve de répétition de syllabes (telle que /Pataka/) est un des piliers de l'évaluation de la parole [Sicard 2020]. Cette épreuve a une réelle valeur clinique pour l'évaluation de troubles neuromoteurs de la parole [Duffy 2012], mais n'a fait l'objet que de peu de travaux scientifiques dans le cadre du bégaiement, à l'exception notable de [Yaruss 2002][Juste 2012] et [Malek 2013].

On peut noter chez [Juste 2012] dans le groupe qui bégaièrent (G1, 26 enfants) un taux de disfluences de 11 %, tandis qu'il est de 2% pour le groupe qui ne bégaièrent pas (G2, 20 enfants), avec notamment 5.5 % de syllabes bégaiées pour G1, et seulement 1% pour G2 (figure 11).

	G1 Mean (SD)		G2 Mean (SD)	
	Preschoolers	School-aged children	Preschoolers	School-aged children
Age	5.63 (1.15)	9.70 (1.49)	5.87 (1.25)	9.50 (3.17)
SLDs	10.94 (6.35)	10.90 (9.21)	1.87 (1.13)	0.75 (1.21)
%ss	5.47 (3.17)	5.45 (4.60)	0.94 (0.56)	0.38 (0.61)
Syllables DDK trial	27.31 (8.03)	37.00 (6.86)	29.00 (5.78)	35.92 (4.74)

Figure 11 : paramètres généraux de l'étude de [Juste 2012]- résultats sur l'épreuve de diadococinésie

L'étude n'a montré aucune différence significative entre les groupes G1 et G2 en termes de débit, les moyennes des syllabes étant autour de 30 ms. Les enfants qui bégaièrent ont cependant un écart-type plus important, une variabilité que l'on retrouve d'ailleurs pour tous les paramètres acoustiques étudiés, que l'on peut considérer comme le résultat d'un mécanisme purement adaptatif.

De son côté [Malek 2013] a analysé les performances de 120 enfants (40 avec bégaiement, 40 dyslexiques, et 40 témoins) de 6–11 ans sur une épreuve de répétition de syllabes /pataka/ pendant 15 secondes, en extrayant le nombre de syllabes prononcées correctement. Le groupe témoin avait articulé un plus grand nombre de /Pataka/ corrects (N : 15 en 15 s) que le groupe dyslexique (Dys : 12), et que le groupe bégaiement (CWS : 9). Le bégaiement induit donc un déficit en termes de compétences articulatoires par rapport aux enfants normaux, notamment des erreurs de séquences de diadococinésie (Figure 12).

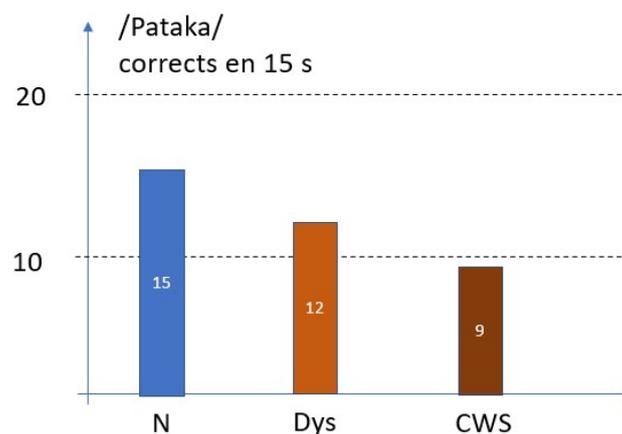


Figure 12 : Nombre de séquences /PaTaKa/ correctes en 15 secondes de diadococinésie, d'après [Malek 2013]. N= groupe normal, Dys= groupe dyslexique, CWS=children who stutter

Score d'efficacité de la parole

Le *Speech Efficiency Score* (SES) a été proposé par [Amir 2018] pour quantifier les disfluences de la parole en se concentrant sur le domaine temporel : le SES représente la partie du temps pendant laquelle le locuteur produit de la parole utile par rapport au temps de parole global, ignorant le temps pendant lequel la parole n'a pas été produite ou n'a pas été efficace. On fait donc la distinction entre :

- La **parole efficace** - Les mots prononcés et les sons qui transmettent des informations, comme des exclamations, pauses brèves et naturelles entre les phrases, silences prosodiques destinés à mettre l'accent ou des accents hyper-prosodiques.
- La **parole inefficace** : segments ou phrases de discours disfluents, y compris les disfluences, telles que les répétitions de phonèmes, de syllabes, de mots ou portions de phrases, blocages, prolongements sonores perçus comme anormaux, interjections.

Measure	Speakers		
	Stuttering (n = 20)	Fluency shaping (n = 16)	Nonstuttering (n = 20)
Perceptual 11-point scale	5.33 (1.21)	1.71 (1.22)	0.19 (1.21)
%SS	19.04 (14.61)	5.33 (12.72)	0.09 (0.40)
SES	54.55 (20.30)	86.12 (12.14)	98.30 (2.68)

Figure 13 : Valeurs moyennes et écart-type (entre parenthèses) de l'échelle de notation perceptive des auditeurs, le pourcentage de syllabe bégayée (% SS) et pour le Speech Efficiency Score (SES) obtenu pour les trois groupes de locuteurs [Amir 2018].

A noter que contrairement à la plupart des échelles de sévérité ou des métriques telles que PSS, SLD ou WSLD, les valeurs du SES vont en sens inverse : le score est d'autant plus élevé que la parole est plus fluide et efficace. Dans l'étude [Amir 2018], les scores moyens d'efficacité de la parole (SES) sont reportés pour les trois groupes de locuteurs : 20 locuteurs qui bégayaient, 16 avec bégaiement et ayant été pris en charge et 20 témoins. La corrélation entre le SES et l'évaluation subjective était de 0,92, alors que la corrélation entre le SES et le % SS était de 0,79. A noter la valeur très faible du % de syllabes bégayés dans le groupe témoin (0.1%), le seuil étant à 1 % (Figure 13).

Débit de parole

L'étude [Hall 1999] sur 24 enfants de 3 à 5 ans (8 bégaiements en voie de guérison, 8 bégaiements persistants et 8 contrôles) ne montre pas de différence significative de débit sur de la parole spontanée avec un adulte, même si les enfants du groupe en voie de guérison ont un débit initialement un peu plus lent, qui se rapproche en suite de la norme (Table 8).

Débit (syl./s)	Bégaiement en voie de guérison N=8	Bégaiement persistant N=8	Contrôle N=8
Débit initial	3.18	3.84	3.84
Débit après 1 an	3.87	3.94	3.94
Débit après 2 ans	3.75	4.12	3.92

Table 8 : Débit de parole comparé entre bégaiement en voie de guérison, bégaiement persistant et groupe contrôle présenté par [Hall 1999] concernant 24 enfants

En revanche, dans [Logan 2011], le discours de 34 enfants de 5 à 10 ans (30 garçons, 4 filles) qui bégayaient (*children who stutter* - CWS) et 34 témoins appariés en sexe et âge (*children who do not stutter* - CWNS) a été analysé dans des tâches de répétition de phrases (MS), conversation (SC) et narration (N). Les débits vocaux du groupe témoin étaient plus rapides que ceux du CWS pour les trois tâches (Figure 14). On peut noter des différences notables de débit de syllabes entre les 2 études, pourtant comparables pour la tâche de conversation.

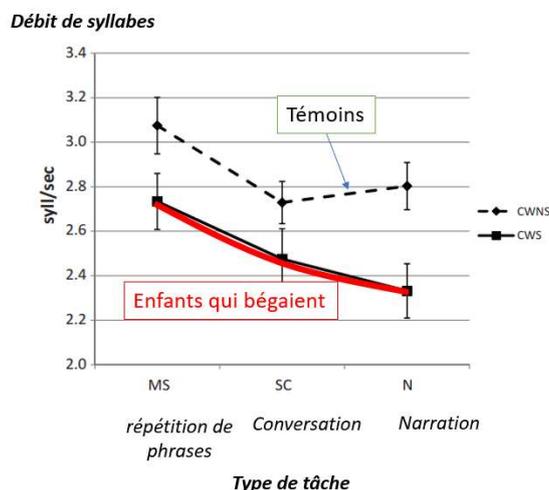


Figure 14 : Taux d'élocution moyen en syllabes/secondes pour les enfants qui ne bégaièrent pas (CWNS) et les enfants qui bégaièrent (CWS) selon 3 types de tâches [Logan 2011]

L'étude de [Rezai 2019] portant sur le débit de parole de 48 adultes (18-42 ans) a montré qu'il était significativement altéré pour les sujets ayant un bégaiement modéré à sévère par rapport au groupe témoin avec un débit divisé approximativement par 2, une tendance conforme aux publications anciennes sur le sujet (Table 9). La tâche demandée était soit de la lecture, soit un monologue. Le débit de parole sur de la lecture ou du monologue semble donc être une mesure clinique pertinente pour faire la distinction entre les personnes qui bégaièrent et ceux qui ne bégaièrent pas, que ce soit des adultes ou des enfants.

Débit (syl./s)	Groupe bégaiement modéré à sévère N=24	Contrôle N=24
Lecture	2,6	5,1
Monologue	1,9	4,4

Table 9 : Débit de parole comparé entre bégaiement et groupe contrôle présenté par [Rezai 2019] concernant 48 adultes

Dans son mémoire d'orthophonie, [Bruneau-Heudes 2018] a étudié, grâce à un questionnaire en ligne, les pratiques des orthophonistes français lors du bilan du bégaiement. Elle a noté que les orthophonistes n'étudiaient que peu les aspects quantitatifs de la fluidité de la parole : retranscription mot à mot d'un échantillon de parole, mesure des éléments continus et discontinus de la parole ou calcul du débit de parole et d'articulation. Elle supposait que ces pratiques paraissaient fastidieuses aux orthophonistes, qui ne disposent pas d'outils facilitant le relevé et permettant d'étudier la progression sur les composantes audibles du bégaiement.

Articulographe

Les comportements des articulateurs visibles lors de disfluences ont notamment été étudiés par [Vallé 2020] à l'aide d'un articulographe électromagnétique, en termes d'amplitude, de vitesse et de trajectoires. Les comportements articulatoires des personnes qui bégaièrent se sont révélés atypiques, même en disfluences normales. Notamment, les mouvements verticaux de la lèvre supérieure étaient fortement modifiés au passage aux disfluences sévères.

Approches automatiques pour l'analyse du bégaiement

Les perturbations du flux de la parole à cause du bégaiement ont intéressé un grand nombre de chercheurs en reconnaissance automatique de la parole. Ils ont tenté d'extraire les indices acoustiques les plus pertinents en vue de classer la parole normale et la parole disfluente. L'une des analyses les plus complètes de l'état de l'art du domaine (42 références citées) a été proposée par [Khara 2018]. L'approche générale peut se résumer selon la figure 15.

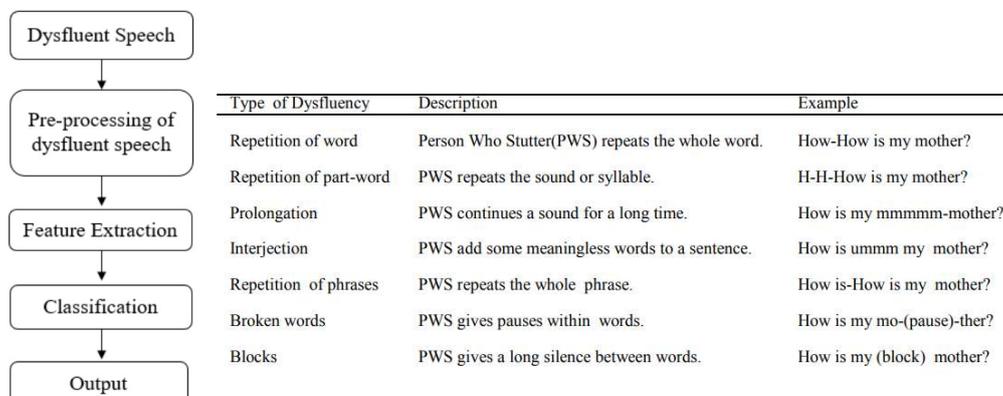


Figure 15 : approche générale de l'analyse automatique des disfluences les plus communes [Khara 2018]

L'auteur souligne que de nombreuses études, bien que donnant des résultats de classification au-delà de 80%, ont souvent fait porter leur analyse sur un faible ensemble de données. La démarche de calcul fait en général appel à la Transformée de Fourier pour un passage en fréquentiel de la parole, ainsi que l'énergie du signal, la construction de spectrogrammes, la détection du fondamental, des formants, des durées de phonation, des pauses, informations qui servent d'entrée à des réseaux de neurones artificiels ou des approches statistiques telles que *LDA (Linear Discriminant Analysis)*, *SVM (Support Vector Machine)* pour l'aide à la décision, en se focalisant notamment sur des prolongations & silences inappropriés ou encore des répétitions de motifs. Ces outils de classification donnent des taux de séparation parole normale/disfluente approchant 95 %. Dans [Gupta 2019] sont détaillés différentes techniques d'analyse automatisée de la parole et les principales techniques de classification avec leurs avantages et inconvénients.

La plupart des études citées portent sur la voix d'adultes, très peu sur la voix d'enfants. De même peu de distinction sont faites en fonction du genre et de l'âge, alors que les données sont sensiblement différentes, notamment en termes de contenu spectral et caractéristiques prosodiques. Enfin, les calculs sont souvent très lourds, ce qui limite l'utilisation en temps réel. La plupart des algorithmes ne fonctionnent que sur la base d'enregistrements et donnent de mauvais résultats en conditions de pratique clinique, notamment en temps réel lors de la rééducation.

Codage des disfluences dans DIADOLAB

Dans DIADOLAB, nous nous limitons à la détection des pauses, des allongements et des répétitions, sans pour autant proposer de véritable outil automatique de classification de la sévérité du bégaiement. En revanche, l'orthophoniste peut coder les disfluences avec un niveau de sévérité associé, ce qui impacte automatiquement le score global de fluence reporté dans la fiche bilan ou dans le bilan d'évolution.

Dans DIADOLAB, nous considérons trois types de disfluences, avec 3 niveaux de sévérité, selon le tableau ci-dessous.

Intervalle	Léger	Modéré	Sévère	Alternative
Allongement	a1	a2	a3	all, allong, allong1
Blocage	b1	b2	b3	blo, bloc, bloc1
Répétition	r1	r2	r3	rep, repet, rep1

133 ms	368 ms	1738 ms
--------	--------	---------

Table 10 : codage des disfluences dans DIADOLAB

Il est aussi possible d'utiliser dans DIADOLAB les symboles du format CHAT *Codes for the Human Analysis of Transcripts* [MacWhinney 2000] :

- /:/ pour les prolongations,
- /^/ pour les mots interrompus,
- /#/ pour les blocages,
- [/] pour les répétitions de mots ou d'énoncés.

Concernant le **blocage**, si sa sévérité n'est pas précisée par l'orthophoniste, le niveau de sévérité est extrait de la durée du segment comportant la disfluence :

- Léger si < 250 ms, couleur rose (codage : b1),
- Modéré si < 500 ms, couleur rouge (codage : b2),
- Sévère si > 500 ms, couleur noire (codage : b3).

Dans DIADOLAB, tout phonème dont la durée est supérieure à 250 ms sera automatiquement considéré comme un **allongement inapproprié**, à l'exception de l'accent tonique (/ou/ de /Bonjour Monsieur Tralipau). Ainsi, indépendamment d'un codage spécifique d'allongement, DIADOLAB considère un allongement :

- Peu sévère si compris entre 250 et 500 ms, couleur rose (codage : a1),
- Modérément sévère (2) si compris entre 500 et 750 ms, couleur rouge (codage : a2),
- Sévère (3) si > 750 ms, couleur noire (codage : a3).

L'orthophoniste peut aussi donner des indications d'allongement inapproprié au moyen de **segments spécifiques a1** (allongement peu sévère), a2 (allongement modérément) et a3 (allongement sévère). Cette notation est utile sur une portion de discours non contraint (tel que /*Bonjour, je m'appelle xxx, j'ai xxx ans, je viens chez l'orthophoniste xxx*/) pour mettre en valeur les différentes disfluences, sans faire de segmentation au niveau phonémique.

Les pauses ne sont pas considérées comme des disfluences. Les pauses inappropriées, spasmes et respirations inappropriées doivent être codés comme blocages pour impacter le score général de fluence.

Illustration de troubles de la fluence

Nous donnons ci-après des exemples de troubles de la fluence en lien avec la parole de patient atteints de bégaiement en se focalisant sur certains traits caractéristiques tels que la prolongation anormalement longue des phonèmes, les répétitions dites sévères ou encore les ruptures inappropriées, par exemple au milieu d'une syllabe.

Pauses normales et inappropriées

La structure générale d'un discours, telle que de la parole spontanée /Bonjour, je m'appelle.../ est résumée à la figure 15. On considère que le discours est constitué de phrases intonatives (*Intonative Phrases* IP), elles-mêmes subdivisées en phrases intermédiaires (*Intermediate phrases* ip). Ces dernières sont composées de mots, ces mots de syllabes, jusqu'aux phonèmes, construits à base d'un ou plusieurs processus sonores tels que l'occlusion, l'explosion, la constriction, la sonorisation ainsi que la nasalisation.

Pauses normales

A chacun de ces niveaux peut être associée une pause, qui sépare les structures entre elles, dont la durée est de plus en plus courte. Un ordre de grandeur de cette durée est donné sur la colonne de droite, inspiré notamment des résultats de [Krivokapić 2007] et de nos propres évaluations (Figure 14).

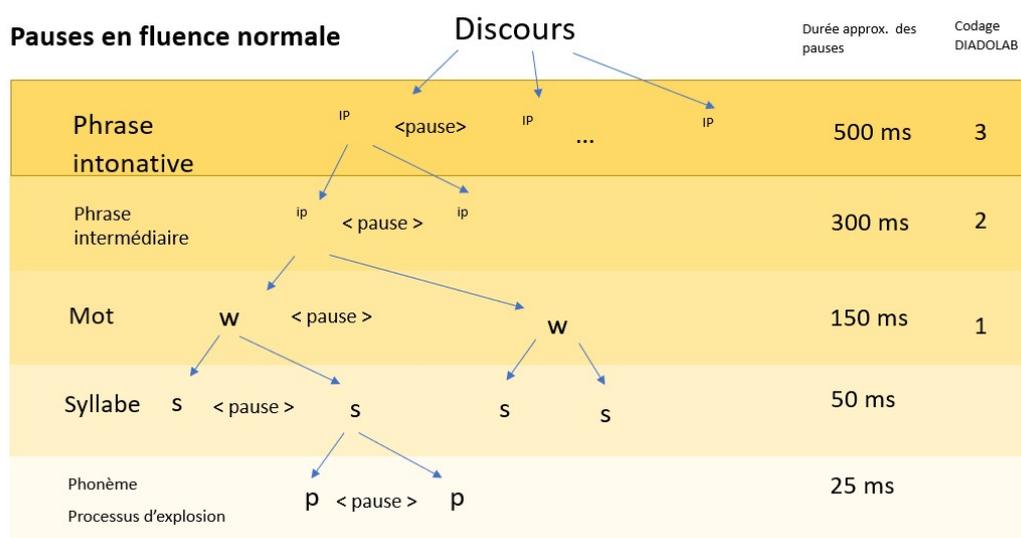


Figure 16 : Structure du discours, durée et niveaux des pauses associées

On distingue souvent les pauses silencieuses où l'on ne perçoit aucune production vocale à l'exception éventuelle de mouvements respiratoires et les pauses dans laquelle le patient prononce une voyelle assimilable à une hésitation ou une réflexion tel que /euuh/, sans que cette production sonore soit considérée comme inappropriée. L'annotation ToBi [Beckman 1997] propose une convention de transcription pour l'intonation et les pauses. Dans DIADOLAB, nous considérons 3 niveaux de durée :

- Pause de niveau 1 (p1) : pause normale entre les mots (150 à 250 ms)
- Pause de niveau 2 (p2) : pause normale entre les phrases intermédiaires (250 à 400 ms)
- Pause de niveau 3 (p3) : pause maximale correspondant à une limite de phrase intonative (400 à 800 ms).

Dans le chronogramme de la figure 17 correspondant à la présentation d'une femme de 29 ans, on constate trois pauses dans le discours /Bonjour <pause> Je m'appelle xxx < pause > j'ai xxx ans < pause >. Je viens chez l'orthophoniste < pause > parce que.../. Les pauses sont toutes appropriées, silencieuses, et leur durée correspond à la fonction souhaitée : séparation de mots <p1>, séparation de phrases intermédiaires (p2), séparation de phrases principales (p3). Il ne s'agit pas ici de disfluences mais bien de pauses appropriées au contexte.



Figure 17 : Exemple de discours avec pauses appropriées, femme de 29 ans fluence normale (OB010)

Codage des pauses dans DIADOLAB

Dans DIADOLAB, si l'on spécifie /pause/, un codage p1, p2 ou p3 est automatiquement proposé en fonction de la durée et apparaît entre parenthèses. Par exemple, la 1^{ère} pause est codée p2, car sa durée correspond à une pause normale entre les phrases intermédiaires (250 à 400 ms). Une pause de niveau 3 (p3) correspondant à une limite de phrase intonative est détectée au temps 3.0s et correspond bien à une transition entre 2 phrases intonatives. La figure 17 reporte les 4 pauses du cas OB010 selon les lois de probabilité des 3 types de pauses. Si l'on spécifie directement « p1 », « p2 » ou « p3 » (ou encore « pause 1 », etc.), le niveau est alors imposé par l'orthophoniste et ne dépend plus de la durée du segment.

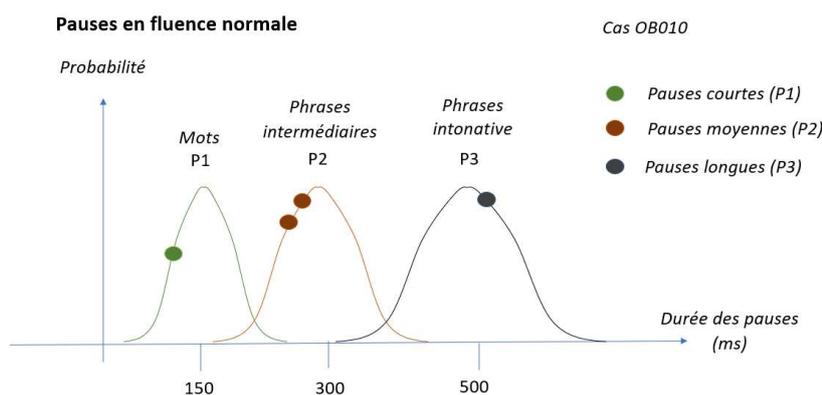


Figure 18 : Répartition des pauses selon des courbes de probabilité aux niveaux allant de la syllabe à la phrase intonative (OB010)

Pauses inappropriées

Les pauses inappropriées sont des séquences de silence non conformes par rapport au discours, qui affectent la compréhension de la parole. Dans l'exemple de la figure 19, un long silence de 2.0 s environ est observé dans le logatome /Tralipau/ (segment en noir) entre la 2^{ème} et 3^{ème} syllabe. On constate un silence entre /Monsieur/ et /Tralipau/ de 411 ms, ce qui est très au-dessus de la pause acceptable pour séparer les mots (Autour de 150 ms, voir figure 18), que l'on considère donc comme une pause inappropriée.

Dans la mesure où notre analyse dans DIADOLAB porte sur une seule phrase intonative, nous détectons des pauses éventuelles sur la phrase courte /Bonjour Monsieur Tralipau/ (ou d'autres phrases telles que /Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil/ [Bardelang 2020]), pour lesquelles aucune pause de durée supérieure à 250 ms ne devrait figurer dans le discours. En effet, il s'agit d'une seule phrase intermédiaire. Seules de légères pauses (150 ms) sont acceptables pour séparer des mots, en particulier entre /Monsieur/ et /Tralipau/.

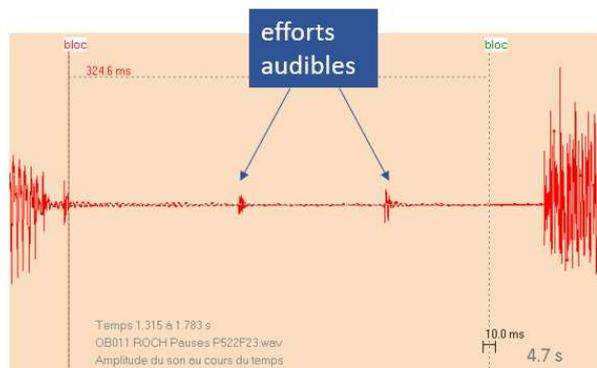


Figure 21 : Allure temporelle d'un segment de blocage comportant des efforts audibles sous forme d'impulsions brèves (cas OB011)

Le blocage peut comporter un ou plusieurs efforts audibles se caractérisant par une brève montée de l'intensité [Didirkova 2016], ce qui est illustré figure 21 sous forme de deux petites impulsions brèves.

Codage des blocages dans DIADOLAB

Dans DIADOLAB, si l'on spécifie /bloc/, un codage *b1*, *b2* ou *b3* est automatiquement proposé en fonction de la durée, et apparaît entre parenthèses. Par exemple, le segment /bloc/ de durée 280 ms est codé *b2*, car sa durée correspond à un blocage modéré (compris entre 250 et 500 ms). Si l'on spécifie directement *b1*, *b2* ou *b3* (ou encore « bloc 1 », etc.), le niveau de sévérité du blocage est alors imposé par l'orthophoniste et ne dépend plus de la durée du segment.

- Blocage léger : *b1*
- Blocage modéré : *b2*
- Blocage sévère : *b3*

La présence de segments /bloc/ dans la segmentation va automatiquement impacter le score de fluence. Plus la sévérité du blocage est élevée, plus le score global de fluence est impacté.

Répétition

Les répétitions sévères peuvent subvenir au niveau des syllabes, des mots voire de phrases entières. Nous donnons ci-après quelques illustrations de répétitions de syllabes, de mots ou de plusieurs mots.

Répétitions de syllabes

Un exemple de répétition de syllabe /bon <bloc> bonjour, je m'appelle/ est donné figure 22. On constate entre les deux répétitions de /bon/ le bruit d'une inspiration inappropriée, caractéristique d'une répétition sévère.

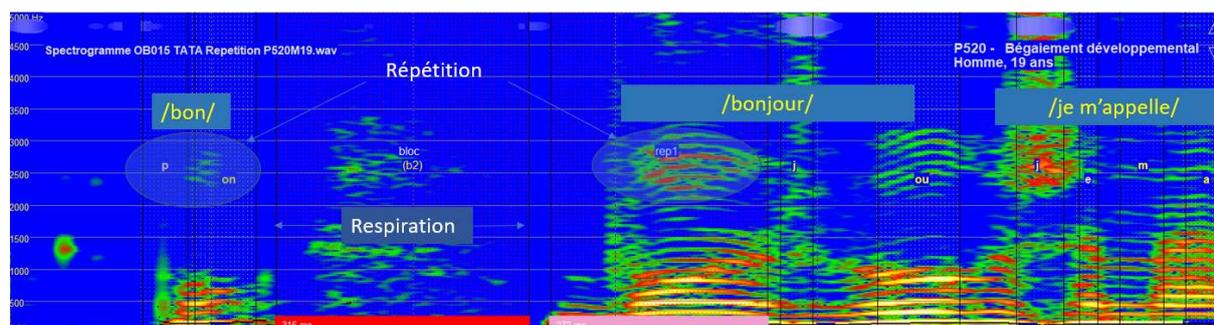


Figure 22 : répétition de syllabes, cas OB015, monologue /Bon-bonjour, je m'appelle../

Répétitions de mots

Un exemple cette fois de répétition de mots /eu-Bonjour, je <blocage>/ eu-Bonjour/ est donné figure 23, correspondant à une femme de 22 ans avec bégaiement modéré à sévère. Le 2ème /Bonjour/ est codé /rep2/, c'est-à-dire comme répétition de sévérité moyenne. Dans la phrase de présentation, on notera aussi que la parole de ce patient est aussi entrecoupée de 4 blocages de durée allant de 75 à 350 ms. Au final, le score global de fluence sera impacté par ces disfluences et passera à « fluence pathologique ».

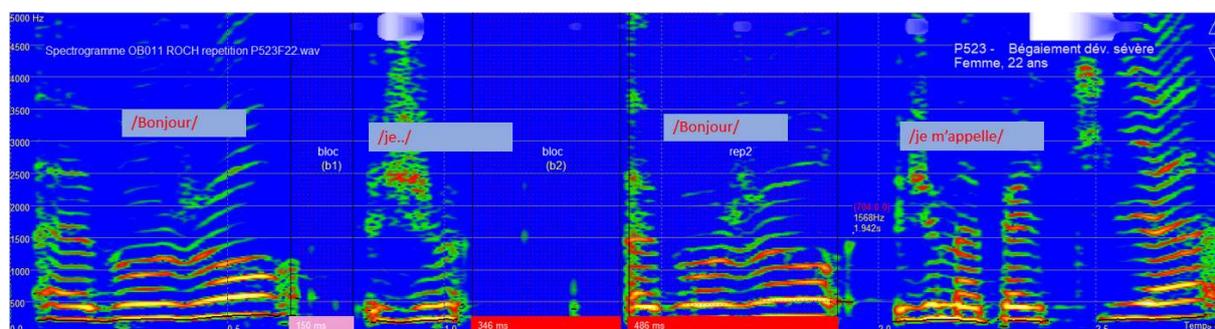


Figure 23 : répétition de syllabes, cas OB011, monologue /eu-bonjour, je..., eu-bonjour je m'appelle../

Codage des répétitions dans DIADOLAB

DIADOLAB détecte automatiquement les répétitions sur la phrase /Bonjour Monsieur Tralipau/, en se limitant toutefois à la détection d'une répétition d'un phonème ou d'une syllabe. Il ne détecte pas les répétitions de mots. Pour du discours spontané tel que /Bonjour, je m'appelle.../, l'orthophoniste doit spécifier un segment /rep/ avec un codage de la sévérité associé. Si l'on spécifie directement « rep1 », « rep2 » ou « rep3 » (ou encore « r1 », etc.), le niveau de sévérité du blocage est alors imposé par l'orthophoniste et ne dépend plus de la durée du segment.

- Répétition peu sévère : rep1 ou r1
- Répétition modérément sévère : rep2 ou r2
- Répétition sévère : rep3 ou r3

La présence de segments /rep/ dans la segmentation va automatiquement impacter le score de fluence. Plus la sévérité de la répétition est élevée, plus le score global de fluence est impacté.

Répétitions sévères

Un exemple de répétition inappropriée spécifique à la parole de personnes qui bégaiant est donné ci-dessous (figure 24). Pour ce garçon de 7 ans avec bégaiement sévère, la parole spontanée débute par une triple répétition de la syllabe /bon/ de bonjour, entrecoupé d'inspirations brutales (segments codés comme /bloc/), une prolongation inappropriée du /on/ (au lieu du /ou/) ainsi que d'une succession de pauses inappropriées et d'un blocage. La respiration inappropriée est codée comme blocage (bloc), le 2ème /bon/ est segmenté « rep1 » (répétition peu sévère), le 3^{ème} bon « rep2 » (répétition de sévérité modérée). Au final, le score de fluence global passe à « fluence pathologique ».

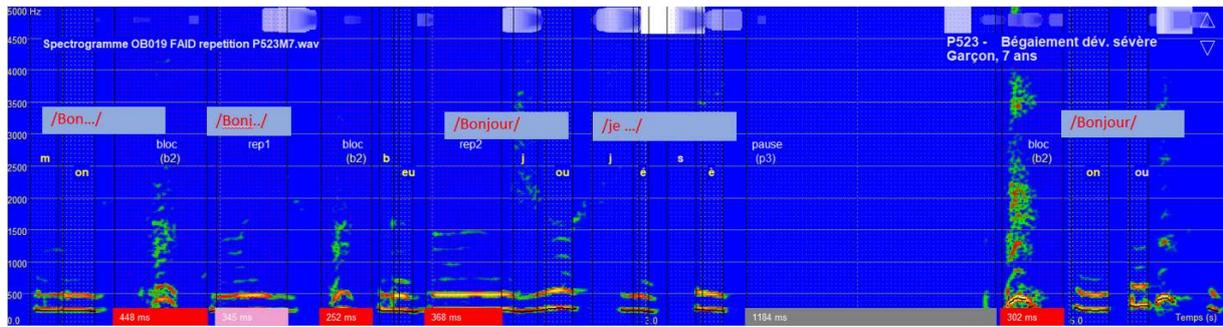


Figure 24 : spasmes composés de voisement et d'inspiration violentes, prolongation inappropriée du /on/ blocage suivi d'un spasme pour le cas OB019.

Allongement des phonèmes

Dans [Didirkova 2016], huit locuteurs ont été enregistrés, quatre qui bégayaient (PQB, 3 hommes et une femme) et quatre sujets normo-fluents appariés (PNF). La tâche consistait à se présenter, décrire une journée type et un film vu récemment. Différents types de disfluences ont été analysés dans cette étude, notamment les prolongations qui représentent environ 20% des disfluences relevées. La durée moyenne des prolongations était de 526 ms (écart type 209 ms) pour la parole normale, et 837 ms pour la parole pathologique, avec un écart-type très élevé : 593 ms. Une prolongation d'un phonème au-delà de 700 ms peut donc être qualifiée de disfluence sévère, une durée qui s'approche des résultats de publications plus anciennes.

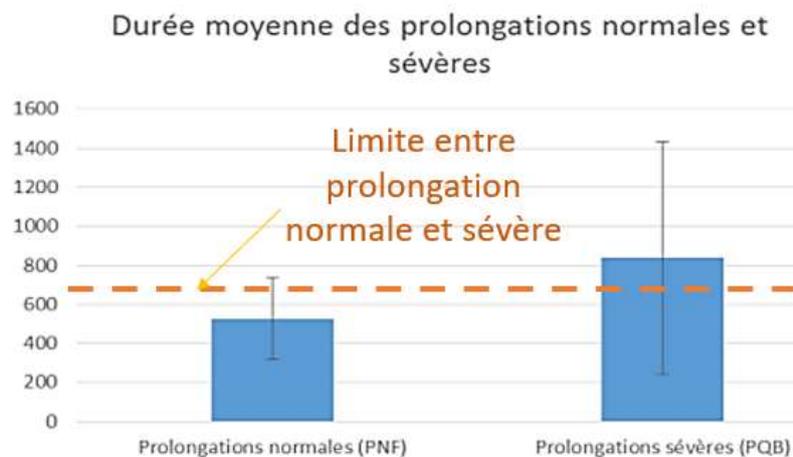


Figure 25 : Analyse des prolongations normales (PNF) et prolongations sévères (PQB) [Didirkova 2016] et positionnement d'un niveau limite

La mesure acoustique de la durée des consonnes resyllabées, à partir d'une épreuve langagière semi-spontanée a fait l'objet du mémoire d'orthophonie de [Burkhardt 2018]. Dans l'étude de l'association de deux mots, elle distingue la liaison, produite uniquement lorsque deux mots sont associés (comme le /t/ de /petit[t]orange/), et l'enchaînement où la consonne finale se prononce, que le mot soit isolé ou associé à un deuxième mot, comme dans /petite[t]orange/. Ses résultats ont montré que les liaisons sont nettement plus bégayées que les enchaînements, et que les phonèmes les plus bégayés sont les plus longs et tendus. La sévérité du bégaiement, liée à l'importance des tensions, semble également influencer la somme de disfluences sur les liaisons.

Analyse d'une phrase courte

Dans le cas d'une phrase courte telle que /Bonjour Monsieur Tralipau/ reproduite d'après un modèle, on constate en parole normale une prolongation de la voyelle /ou/, qui est sujette à un accent d'intensité mais aussi de hauteur. Sa durée (environ 200 ms) est presque deux fois supérieure à la moyenne des autres phonèmes (120 ms tous âges confondus). Les statistiques ont été réalisées sur la base de 15 à 25 enregistrements par tranche d'âge [Sicard 2020c]. La valeur de 200 ms est très inférieure aux prolongations constatées par [Didirkova 2016] de 500 ms en moyenne, mais ce n'est pas la même métrique qui était visée : dans notre cas, il s'agit d'une mesure de l'accent tonique, dans l'étude de [Didirkova 2016], il s'agit de disflue de type prolongation dans un discours.

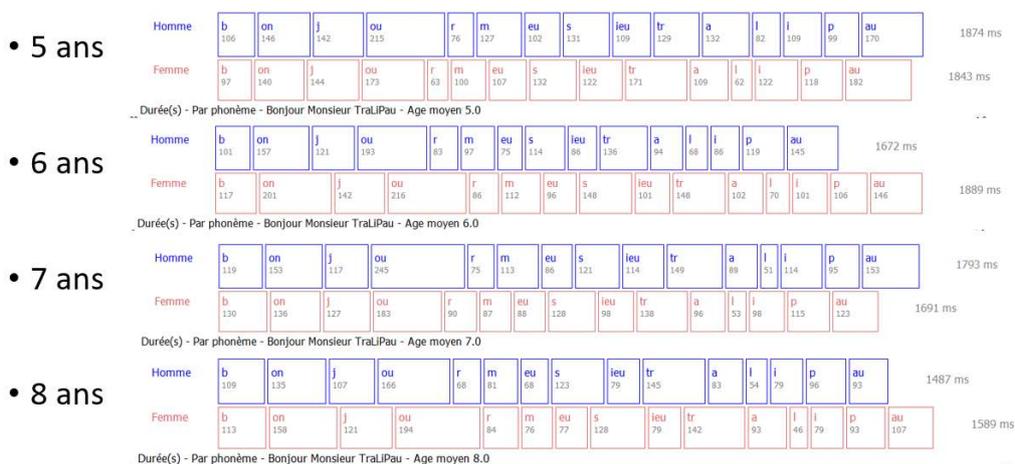


Figure 26 : Durée moyenne des phonèmes de la phrase « Bonjour Monsieur Tralipau » de 5 et 8 ans, enfants normo-phoniques, N=15 à 25 selon les tranches d'âge.

Un exemple de prolongation non conforme concerne le cas GS008, garçon de 5 ans, qui prononce /Bonjour, m—eusieur trapilau/ en faisant un allongement du phonème /m/ de 345 ms, très au-dessus de 120 ms moyen observé à cet âge pour cette tâche de répétition de phrase courte [Sicard 2020c]. Il s'agit bien ici d'une disflue de type allongement inapproprié.

Un exemple de prolongation atypique est donné à la figure 27. Le patient (homme, 27 ans), souffrant d'un bégaiement sévère, se présente en disant /Bonjour, je m'appelle zs--/ et bloque sur un /z/ suivi d'un /s/ d'une durée de 1,7s, très au-delà de la norme (110 ms). Il s'agit ici aussi d'une disflue de type allongement avec paralysie de la phonation.

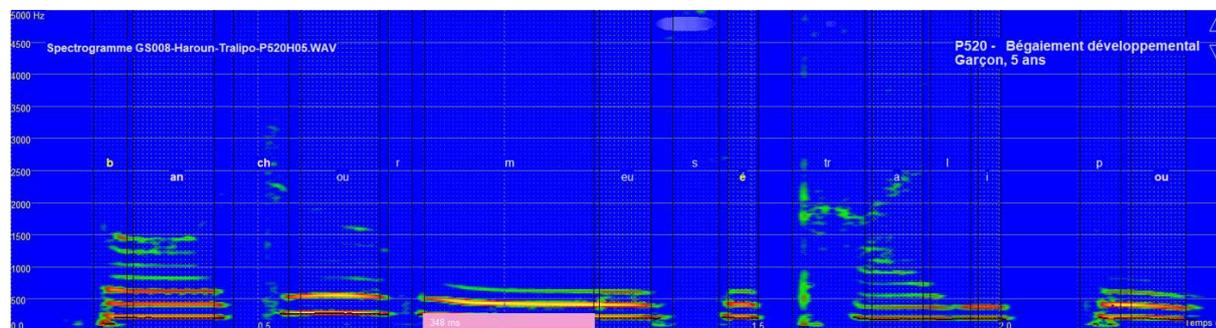


Figure 27 : Prolongation du /m/ de /monsieur/, cas GS008 bégaiement modéré

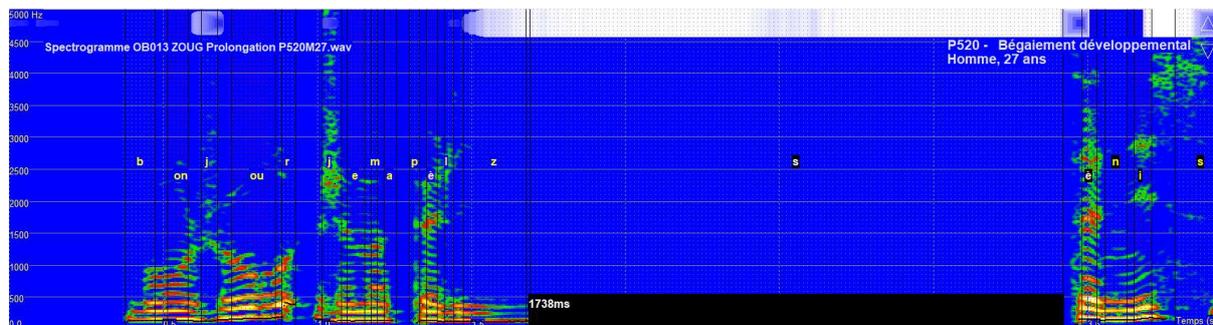


Figure 28 : prolongement inapproprié sur le /s/, cas OB013, bégaiement sévère parole en mode présentation /Bonjour, je m'appelle../

Codage des allongements dans DIADOLAB

Dans DIADOLAB, tout phonème dont la durée est supérieure à 250 ms est considéré comme un allongement léger (rose), supérieur à 500 ms comme un allongement modéré (rouge) et supérieur à 750 ms comme un allongement sévère (noir). Dans l'exemple de la figure 27, le segment /s/ de 1,7 s est codé en noir.

Une exception notable est l'accent tonique sur les phrases type proposées dans le bilan de la parole [Menin-Sicard 2019][Sicard 2020]. Aucun allongement n'est alors détecté sur les phonèmes correspondants aux accents toniques, quelle que soit leur durée.

- /Bonjour Monsieur Tralipau/ : accent sur le /ou/
- /Il vole des framboises/ : accents sur /o/ et /oi/
- /Est-ce que connais Glochin l'écureuil ?/ : accents sur /ai/ et /eui/

Il est possible de spécifier un segment /allong/ (ou /all/) et de préciser un codage de sévérité associé 1, 2 ou 3. Si l'on spécifie directement « all1 », « all2 » ou « all3 » (ou encore « a1 », etc.), le niveau de sévérité de l'allongement est alors imposé par l'orthophoniste et ne dépend plus de la durée du segment.

- Allongement léger : all1 ou a1
- Allongement modéré : all2 ou a2
- Allongement sévère : all ou a3

La présence de segments /allong/ dans la segmentation va automatiquement impacter le score de fluence. Plus la sévérité du blocage est élevée, plus le score global de fluence est impacté.

Analyse de la parole de personnes qui bégaient

Corpus

Dans le cadre de l'ERU 46 « Parole pathologique » du laboratoire LURCO de l'UNADREO, nous avons pu collecter une trentaine d'échantillons de parole selon le protocole proposé dans [Menin-Sicard 2019] d'enfants et d'adultes qui bégaient, que nous souhaitons comparer à des locuteurs normaux appariés en âge.

En particulier, nous disposons de 3 enregistrements :

- Une série rapide de /Pataka/ (modèle donné à 6 syllabes/secondes pour les adultes)
- Une phrase /Bonjour Monsieur Tralipau/ (modèle H,F,E)
- Une présentation de type /Bonjour, je m'appelle... et je viens chez l'orthophoniste pour.../

Les repères concernant l'épreuve /PaTaKa/ sont donnés dans [Sicard 2020]. L'analyse de la phrase type est donnée dans [Sicard 2020c]. Les orthophonistes ont évalué la sévérité du bégaiement selon 4 niveaux :

- 0 : parole quasi normale, codage P000,
- 1 : bégaiement léger, codage P321,
- 2 : bégaiement modéré, codage P322
- 3 : bégaiement sévère, codage P323.

Nous donnons ci-après des résultats d'analyse de la diadococinésie et de la phrase type selon la sévérité du trouble, à l'aide des outils statistiques de DIADOLAB [Sicard 2020d]. Nos hypothèses sont les suivantes :

- La diadococinésie serait une épreuve pertinente en lien avec la sévérité du bégaiement
- Certains indicateurs de diadococinésie seraient corrélés avec la sévérité du bégaiement
- Certains indicateurs de diadococinésie permettraient de mesurer de manière objective les progrès du patient
- Une phrase type prononcée par une personne qui bégaie possède des caractéristiques différentes de celle prononcée par un témoin
- Certaines caractéristiques, notamment les imprécisions et erreurs dans le premier mot de la phrase ou le logatome de 3 syllabes, sont corrélées avec la sévérité du bégaiement

Analyse de la diadococinésie

Corpus de /Pataka/

Nous regroupons 52 cas de répétition de /Pataka/ en parole normale (20 sujets), 12 bégaiements légers (11 H, 1 F), 12 modérés (9 H, 3 F) et 8 sévères (4 H, 4 F). Les enregistrements ont été réalisés avec DIADOLAB et un microphone directionnel de type Shure SM58 ou équivalent, à 22 KHz. Un modèle homme, femme ou enfant est donné, dont le débit correspond à la moyenne du groupe normal. Seule une portion de 5 secondes (enfants de moins de 8 ans) ou 7 secondes (enfants de 8 ans et plus et adultes) est utilisée, conformément au protocole décrit dans [Menin-Sicard 2019].

Le groupe témoin de 20 cas a été apparié en sexe et en âge avec le groupe des personnes qui bégaient. On note sur l'histogramme de la répartition par âge (Figure 28) une forte concentration des sujets entre 8 et 12 ans. Pour l'ensemble des groupes, 36 sujets sont de sexe masculin, 16 sujets sont de sexe féminin.

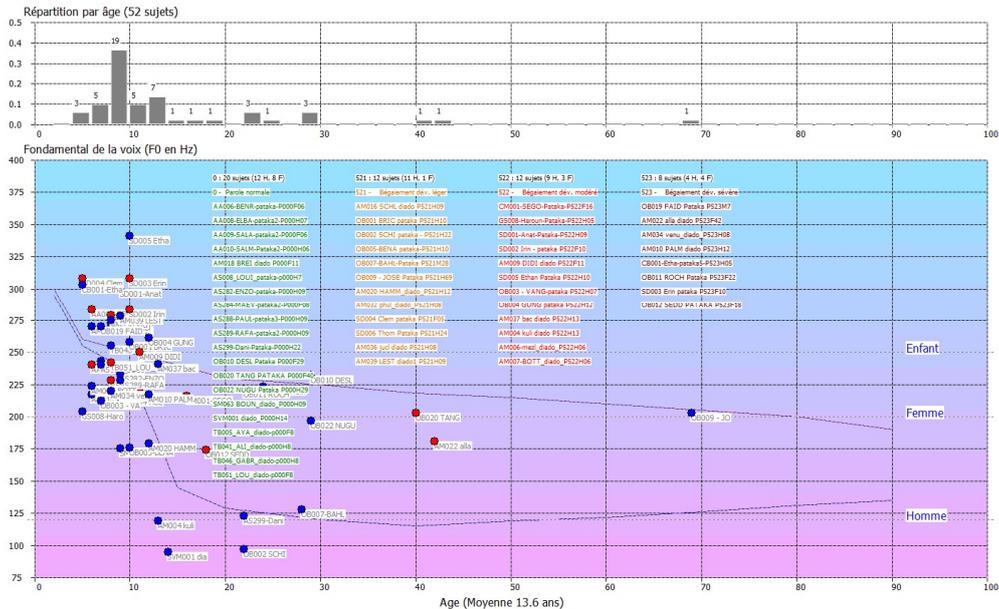


Figure 29 : répartition par âge et par catégorie des 52 cas pour l'analyse de la diadococinésie

Indicateurs d'altération

L'analyse de la diadococinésie avec DIADOLAB porte sur 4 indicateurs normalisés, dont les détails algorithmiques sont fournis dans [Sicard 2020] :

- **Atonie** : Atonie des consonnes plosives /p/, /t/, /k/ : voisement, faible explosion, tonicité vélaire
- **Débit** : Débit des syllabes trop lent
- **Irrégularité** : Irrégularité du débit des syllabes
- **Puissance** : Instabilité en puissance au cours de la réalisation

Les quatre indicateurs sont normalisés de manière à ce qu'une répétition de /PaTaKa/ normale donne des valeurs significativement en dessous de 1.0, tandis qu'une répétition de /PaTaKa/ pathologique donne des résultats significativement au-dessus de 1.0. Deux exemples de réalisations sont comparés à la figure 30 : dans la figure du haut, les 4 indicateurs sont en dessous de 1.0, la diadococinésie est considérée comme normale. Dans la figure du bas, les 4 indicateurs sont au-dessus de 1.0, dont 2 au-dessus de 2.0. Le tableau correspond à une diadococinésie très altérée : débit lent, irrégulier, atonie et tendance à la décroissance de la puissance.

Sur la figure 30, l'ensemble des indicateurs est dessiné avec un jeu de couleurs (vert= normal, orange=limite, rouge=altéré), par ordre de sévérité, de gauche à droite : 0=parole normale, 521=bégaiement léger, 522=bégaiement modéré, 523= bégaiement sévère. On constate une tendance globale à la coloration des indicateurs avec le degré de sévérité du bégaiement. La coloration est plus marquée pour l'atonie et l'instabilité en puissance.

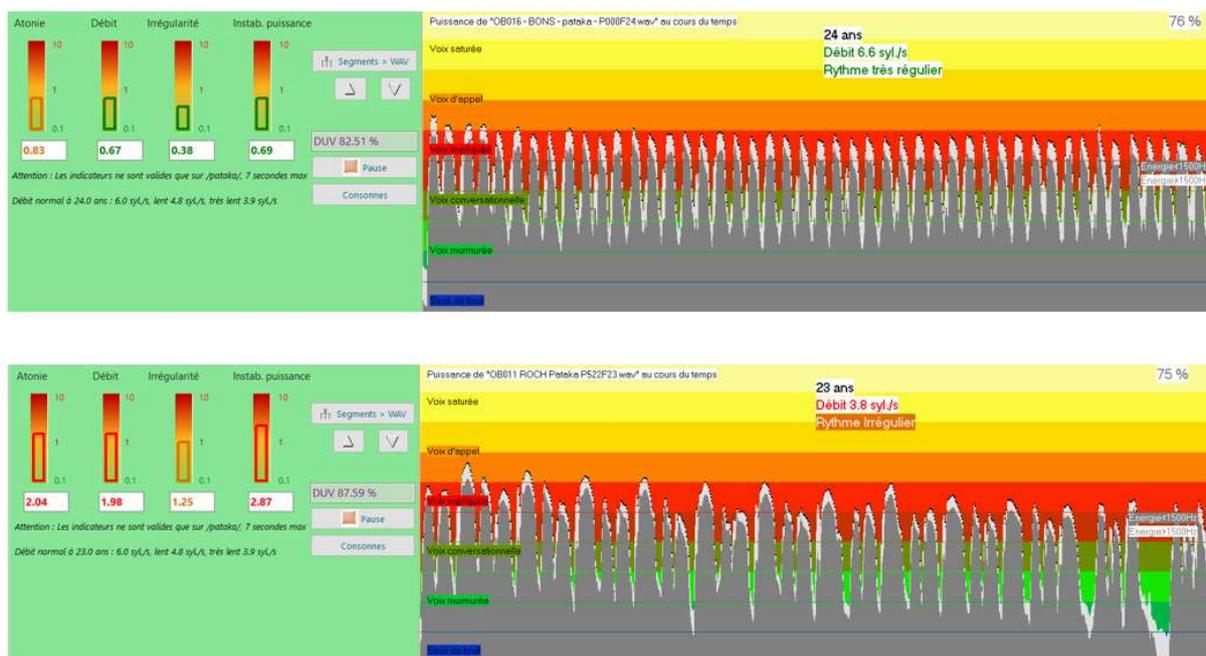


Figure 30 : comparaison de diadococinésia sur /Pataka/ en parole normale (OB016) et bégaiement modéré (OB011)

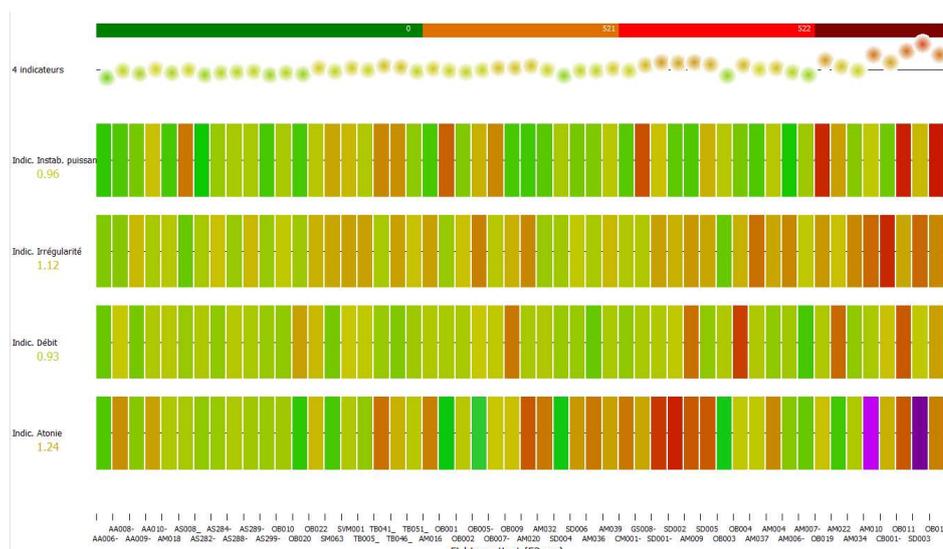


Figure 31 : Indicateurs d'altération de la diadococinésia sur /Pataka/ classés par groupe : normal à gauche, faible (521), modéré (522) et sévère (523).

Atonie

On constate sur la figure 31 des différences significatives entre les groupes avec une tendance nette à l'augmentation de l'atonie en lien avec la sévérité du bégaiement. Une explication possible est une augmentation de la fréquence des erreurs de séquences telles que le voisement de certaines séquences ou la faiblesse de l'énergie des plosives /p,t,k/ par rapport à la voyelle /a/.

On peut noter une grande variabilité des données au sein d'un même groupe, donc de grandes différences de rapport d'énergie entre les consonnes /p,t,k/ et la voyelle /a/, pouvant être influencée par l'inhibition, l'appréhension de faire des erreurs ou le manque d'assurance dans l'enchaînement articulaire.

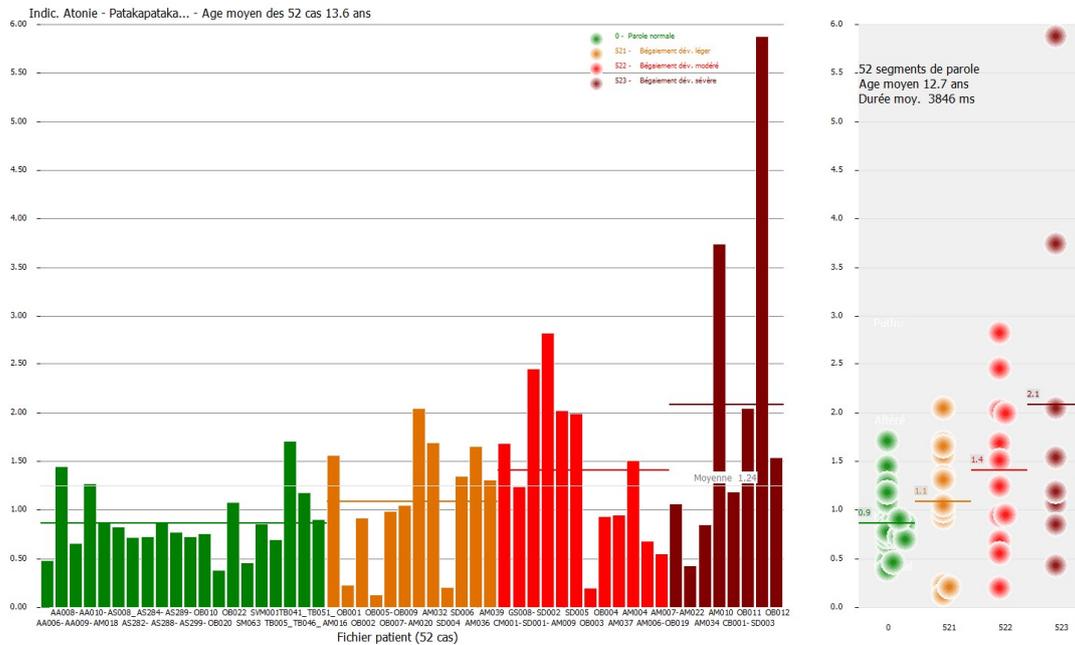


Figure 31 : Analyse statistique de l'atonie du /Pataka/ portant sur 32 cas de bégaiement léger, moyen et sévère, comparés à 20 témoins

Débit

Concernant l'altération du débit de syllabes, on constate cette fois peu de différences entre les groupes et une faible augmentation avec la sévérité du bégaiement. Comme observé par [Juste 2012] et [Malek 2013], ce sont plus des erreurs de séquence qui sont corrélées avec la sévérité du bégaiement que le débit des syllabes. On note sur la partie droite de la figure 32 une répartition des valeurs assez concentrée donc un écart type beaucoup plus faible que pour l'atonie. Bien que le débit soit aussi dépendant de l'âge, l'épreuve est globalement assez bien réussie par les personnes avec bégaiement léger et modéré, mais le débit est significativement ralenti dans le cas du bégaiement sévère.

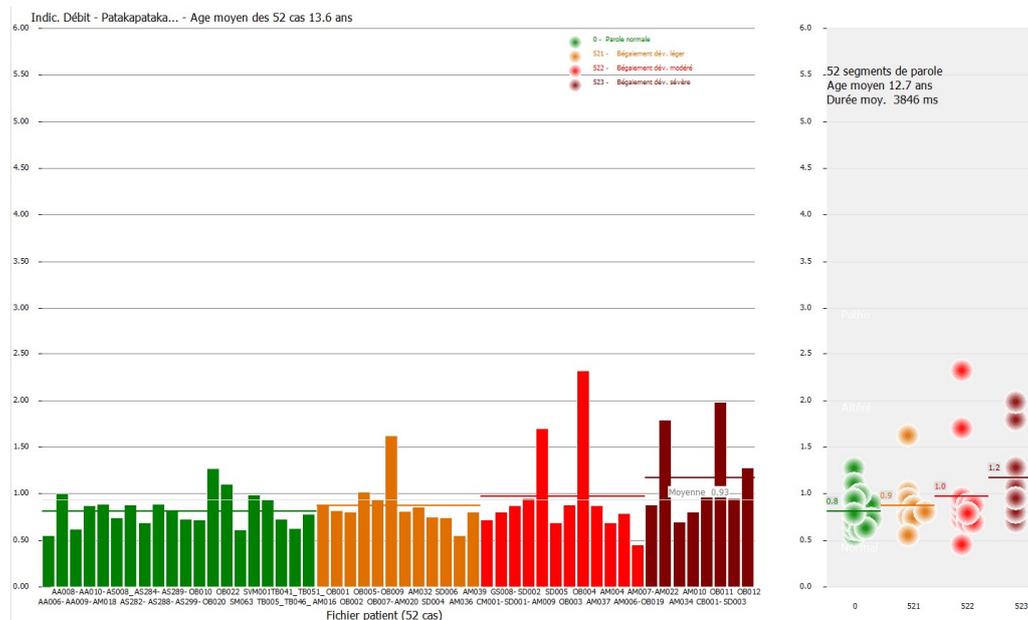


Figure 32 : Analyse statistique de l'altération du débit de syllabes du /Pataka/ portant sur 32 cas de bégaiement léger, moyen et sévère, comparés à 20 témoins

Irrégularité du débit

L'irrégularité du débit des syllabes est à la limite de la normalité pour le groupe à bégaiement modéré, et au-dessus de la limite pour le bégaiement sévère. Une explication possible est la cumulation de problèmes de fluence sur cette épreuve dans le groupe bégaiement sévère : reprises inspiratoires inappropriées, blocages, hésitations et erreurs de séquence.

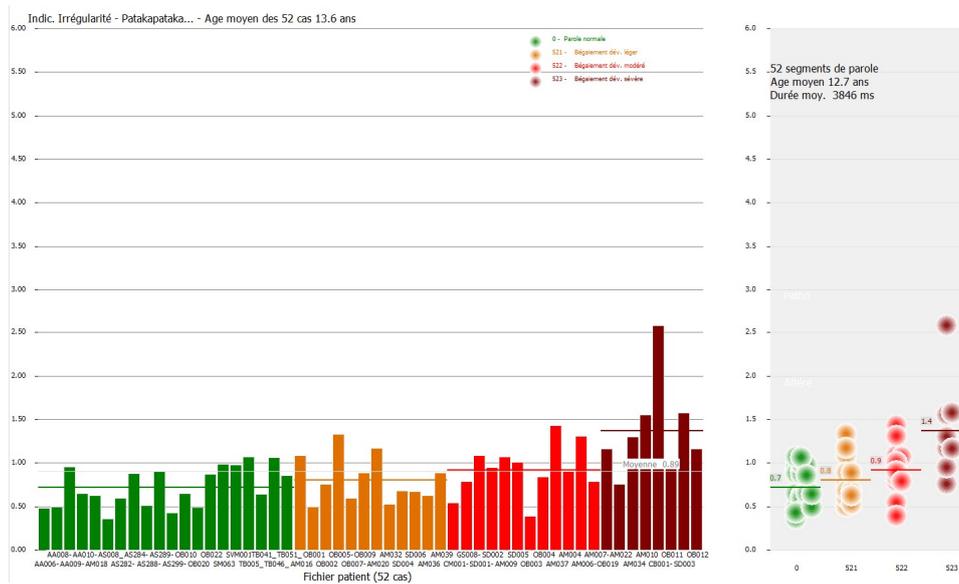


Figure 33 : Analyse statistique de l'irrégularité du débit de syllabes du /Pataka/ portant sur 32 cas de bégaiement léger, moyen et sévère, comparés à 20 témoins

Instabilité en puissance

Si l'on constate peu de différences entre les groupes témoin, bégaiement léger et modéré, la tendance est à la hausse concernant le groupe bégaiement sévère où deux cas sur 8 ont un indicateur anormal. L'instabilité en puissance est notamment liée à des reprises inspiratoires inappropriées (OB011, OB019), des blocages à l'initiation de la série de /Pataka/ (OB012), des erreurs de séquences (OB019, ou à une dégradation du niveau de puissance au cours de la réalisation (OB011).

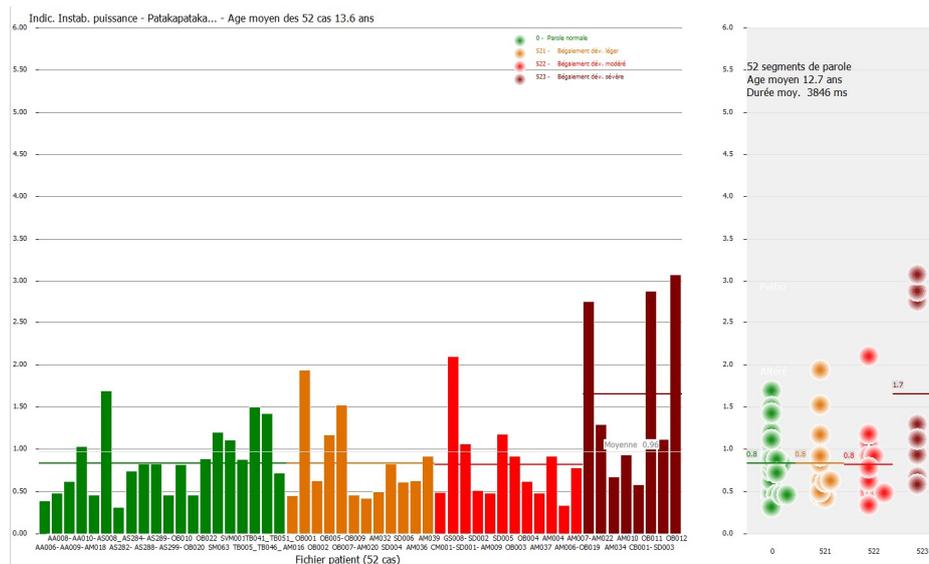


Figure 34 : Analyse statistique de l'irrégularité de la puissance du /Pataka/ portant sur 32 cas de bégaiement léger, moyen et sévère, comparés à 20 témoins

Synthèse de l'étude de la diadococinésie

Les indicateurs les plus pertinents sont l'atonie, l'irrégularité du débit et, dans une moindre mesure, l'altération du débit et l'instabilité en puissance, surtout concernant le groupe à bégaiement sévère. Si l'on reporte dans un espace à deux dimensions l'atonie (X) et l'irrégularité du débit (Y), on observe une assez bonne séparation des différents groupes, les témoins étant situés nettement en bas à gauche (figure 35). La sévérité du bégaiement tend à placer les points à droite (atonie élevée) ou vers le haut (irrégularité du débit élevée).

Différents accidents de parcours sont notés : reprises inspiratoires inappropriées, blocages, pauses inappropriées, erreurs de séquences. On constate aussi une dégradation du niveau de puissance au cours du temps. L'épreuve de diadococinésie semble donc intéressante dans le cadre du bilan du bégaiement, notamment pour donner une évaluation objective des progrès du patient dans le cadre d'une prise en soin orthophonique.

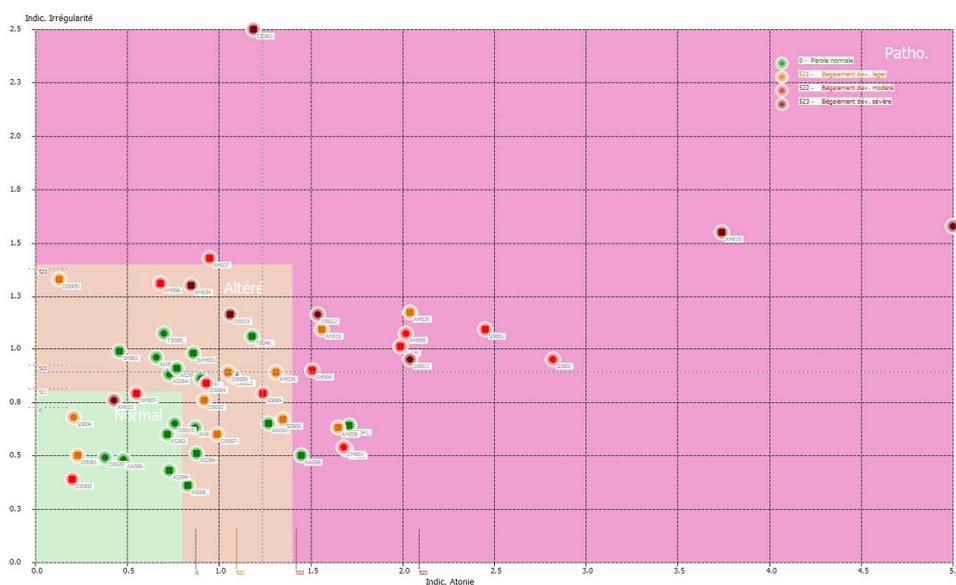


Figure 35 : Projection de l'atonie et de l'instabilité du débit sur les 52 cas. Le groupe contrôle est majoritairement dans la zone inférieure à 1.0. La sévérité du bégaiement tend à placer les points à droite (atonie élevée) ou vers le haut (instabilité du débit élevée).

Analyse d'une phrase type

Nous regroupons 46 cas d'enregistrements de la phrase */Bonjour Monsieur Tralipau/* en parole normale (20 sujets, 14 H, 6 F), 10 bégaiements légers (10 H), 9 modérés (6 H, 3 F) et 7 sévères (3 H, 4 F). Les enregistrements ont été réalisés avec DIADOLAB et un microphone directionnel de type Shure SM58 ou équivalent, à 22 KHz. Un modèle homme, femme ou enfant est donné, avec un accent intonatif sur /ou/ de /Bonjour/. Le choix de cette phrase est étayé dans [Sicard 2020c].

Les orthophonistes ont ensuite procédé à une segmentation de la phrase selon une méthodologie explicitée dans [Menin-Sicard 2021]. La segmentation attendue est */b on j our m eu s ieu tr a l i p au/*. Une analyse de la différence de segmentation entre cliniciens et son impact sur le score d'articulation a été conduite dans le cadre des mémoires de [Bardelang 2020] et [Grenier 2020], montrant une variabilité inter-cliniciens relativement faible. A noter une diphtongue /ieu/ et un cluster /tr/ que nous ne distinguons pas dans la segmentation. La segmentation se fait en fréquentiel sur le spectrogramme et en temporel pour un ajustement précis des frontières, avec l'aide d'indicateurs comme le degré de constriction (Figure 36).

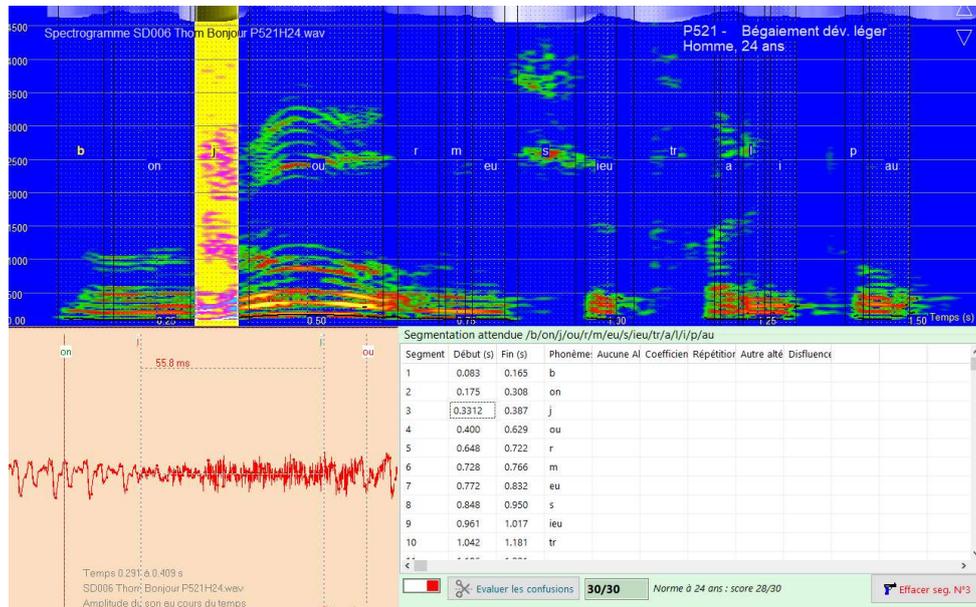


Figure 36 : segmentation et ajustement des frontières avec DIADOLAB, cas SD006, homme de 24 ans avec bégaiement léger

Analyse du groupe témoin

Le groupe témoin de 20 cas a été apparié en sexe et en âge avec le groupe des personnes qui bégaiant. Les critères d'exclusion sont un score d'articulation inférieur à la norme selon l'âge et un âge inférieur à 8 ans. Le score normal est de 28/30. 14 sujets sont de sexe masculin, 6 sujets de sexe féminin. On note de rares imprécisions, telles que /i/ omis dans /ieu/, une dénasalisation du /on/, et une désonorisation /p>b/.

On note aussi 2 allongements légers, représentés par des carrés roses codés « a1 ». Ces allongements sont détectés en dehors de l'accent tonique.

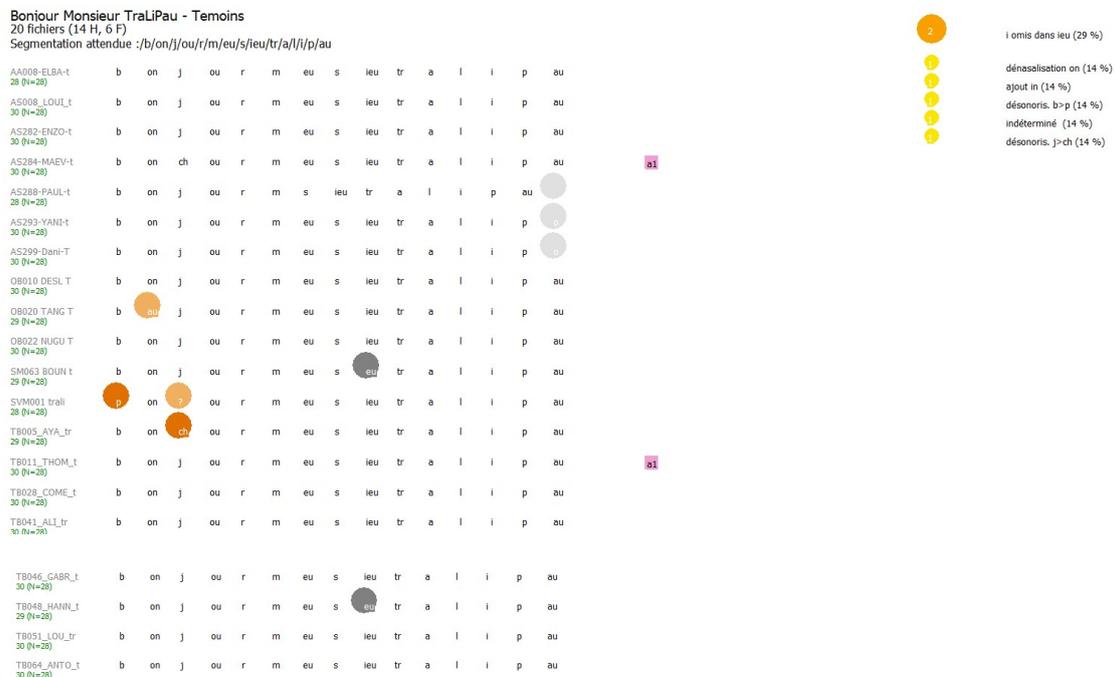


Figure 37 : Imprécisions d'articulation et disfluences sur la phrase /Bonjour Monsieur Tralipau/, 20 témoins

Analyse du groupe à bégaiement léger

L'analyse porte sur 10 sujets de sexe masculin. On note un nombre d'imprécisions plus important, ainsi qu'une erreur de phonème. Trois imprécisions ressortent :

- 5 substitutions ch > s
- 3 désonorisations j > ch
- 3 omissions du /i/ dans /ieu/

On ne note dans ce groupe aucune disflue. L'analyse des altérations phonologiques laisse apparaître une certaine prévalence des désonorisations. L'hypothèse d'un VOT (voice onset time) mal synchronisé à cause d'un très léger défaut d'initiation peut être proposée. Il est difficile de faire la part des choses entre un bégaiement cohabitant avec un trouble phonologique ou un bégaiement pouvant être dans certains cas une conséquence du trouble phonologique que le sujet tenterait de compenser par une suractivité musculaire laryngée, labiale, vélaire et linguale. L'imprécision de position articulaire que ce soit sur le plan consonantique ou sur le plan vocalique se renforce en fonction du degré de sévérité du bégaiement. Elle apparaît cependant très nettement dès le degré de sévérité « léger » du bégaiement (substitution s/ch retrouvé dans 62% des sujets).

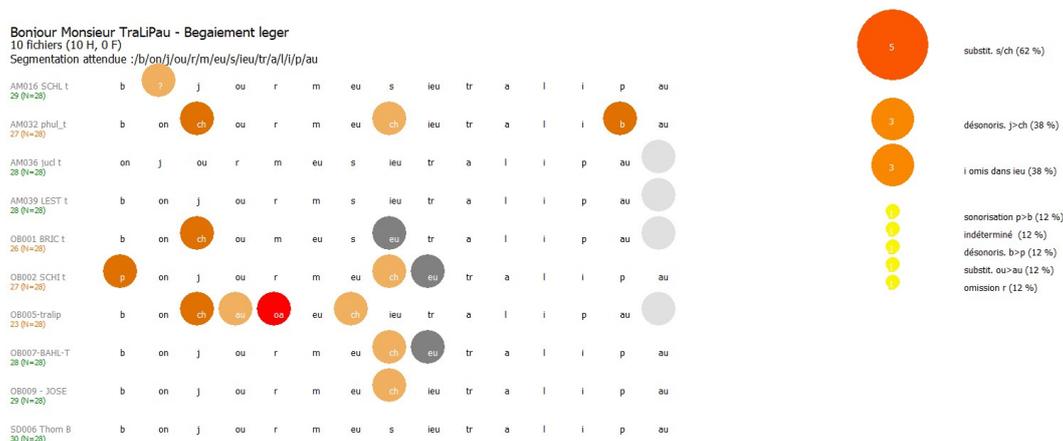


Figure 38 : Imprécisions d'articulation et disfluences sur la phrase /Bonjour Monsieur Tralipau/, 10 patients avec bégaiement léger

Analyse du groupe à bégaiement modéré

Concernant le bégaiement modéré (6 H, 3 F), on note, en plus d'un nombre plus élevé d'imprécisions et d'erreurs (substitution ch>j, désonorisation b>p), l'apparition de disfluences de type allongement sur 2 cas, AM019 et OB003. Pour ces 2 cas, il s'agit d'allongements légers (carré rose a1). Une grande partie des imprécisions sont liées à une indétermination /?/ ce qui veut dire que l'orthophoniste en charge de la segmentation n'a pas été capable de reconnaître sans hésiter le phonème prononcé ou hésite entre 2 interprétations. On constate aussi que le logatome /Tralipau/ reste intact (figure 38).

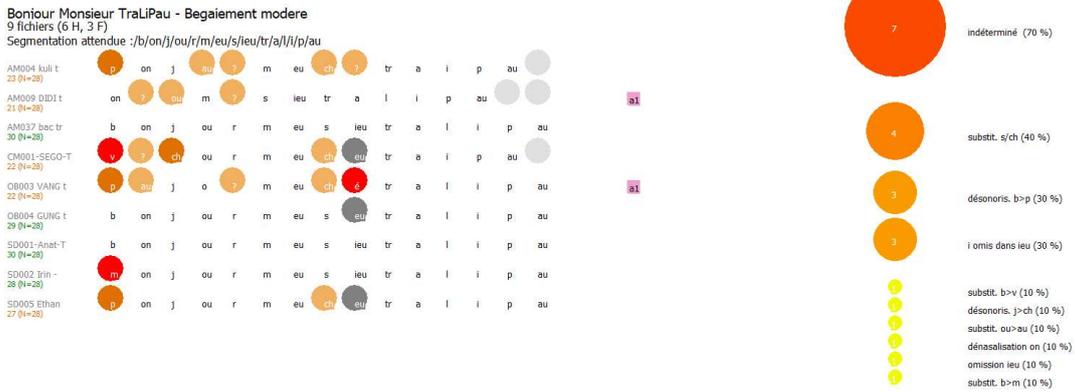


Figure 39 : Imprécisions d’articulation et disfluences sur la phrase /Bonjour Monsieur Tralipau/, 10 patients avec bégaiement modéré

L’analyse des altérations sur le groupe des sujets à bégaiement modéré, l’imprécision vocalique (phonèmes substitué ou intermédiaire) est remarquable. L’omission du « r » phonème pouvant être considéré comme « extrême » est retrouvée chez 3 sujets tandis que la simplification de la diphtongue « ieu » est repérée chez 5 sujets. Ces observations laissent supposer que les mouvements de la langue dans la vitesse sont moins performants chez les sujets bègues que les sujets tout-venants.

Analyse du groupe à bégaiement sévère

Dans le groupe à bégaiement sévère (3 H, 4 F), en plus d’une multiplication des erreurs et l’atteinte du logatome /Tralipau/, c’est l’apparition systématique de disfluences modérées (en rouge) et sévères (en noir) qui est frappante. La plupart des cas cumule sur cette simple phrase plusieurs disfluences distinctes, jusqu’à 7 pour AM010, 5 pour AM022, et 4 pour OB019.

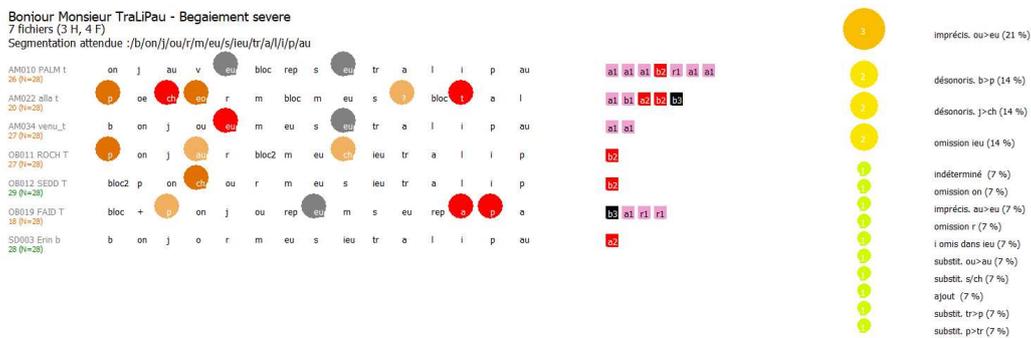


Figure 40 : Imprécisions d’articulation et disfluences sur la phrase /Bonjour Monsieur Tralipau/, 10 patients avec bégaiement sévère

L’analyse des altérations phonologiques en lien avec le type de disfluence est intéressante et donne des pistes d’approfondissement. Certains sujets font peu d’altérations phonologiques mais beaucoup de disfluences (Cas AM010 Palm) alors que d’autres ont le profil inverse (AM022 alla). Il est retrouvé dans ce groupe la substitution quasi systématique du phonème initial /b/ en /p/, des imprécisions touchant les extrêmes vocaliques donc à fort impact sur l’intelligibilité. Le logatome « Tralipau » est peu touché dans le cas du bégaiement léger à modéré et se révèle lui aussi sujet à altération pour le groupe bégaiement sévère.

On note aussi des altérations plus atypiques et plus graves telles que la substitution tr/p retrouvée chez deux sujets. Des difficultés de coordination des différents processus de parole dans la vitesse est une piste de recherche crédible au vu de la typologie des erreurs retrouvées à différents niveaux chez les sujets suivis pour troubles de la fluence.

Synthèse sur l'étude d'une phrase type

Bien que le taux de disfluences soit moins élevé dans le cadre d'une épreuve de répétition de phrase en cabinet d'orthophonie que dans une épreuve telle que parler au téléphone à un inconnu [O'Brian 2004], on constate une augmentation significative des imprécisions et des erreurs d'articulation avec la sévérité du bégaiement. Si aucune disfluente n'a été mise en valeur dans le groupe à bégaiement léger, les disfluences apparaissent dans le cas du bégaiement modéré et deviennent quasi systématiques en bégaiement sévère, avec certains patients en échec dans la réalisation d'une telle tâche, se traduisant par des scores d'articulation et d'altération de la fluence pathologiques. L'épreuve de répétition d'une phrase courte est donc intéressante dans le cas du bégaiement modéré et sévère, mais n'est pas discriminante dans le cas du bégaiement léger. D'autres tâches susceptibles de provoquer le bégaiement doivent compléter le bilan. Les altérations se concentrent majoritairement sur le premier mot « bonjour » ce qui pourrait être expliqué par un problème d'initiation, de stress maximal sur le démarrage de la parole. Le fait que le logatome de 3 syllabes soit altéré seulement dans le groupe des bégaiements sévères pose question quant au contenu sémantique et pourrait être une piste de réflexion sur le lien entre sémantique et stress articulaire.

Prospective

L'évaluation du bégaiement d'après des échantillons de parole limités à une simple répétition de phrase et une épreuve de diadococinésie en cabinet d'orthophonie est loin d'être représentative du trouble global du patient transposé dans sa vie quotidienne. Elle donne cependant des informations intéressantes sur les imprécisions d'articulation et disfluences notamment dans les cas de bégaiement modéré et sévère, qui peuvent se révéler utiles pour mesurer les progrès en lien avec la prise en charge orthophonique. Dans le cas de bégaiement léger, les 2 épreuves se révèlent non discriminantes par rapport à la parole fluente.

Nous avons déjà étudié, dans un cadre plus général que le bégaiement, la complémentarité d'autres phrases au travers des mémoires de [Bardelang 2020] et [Grenier 2020] /Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ?/ et /Il vole des framboises/. L'intérêt de ces épreuves est de couvrir les différentes voyelles et consonnes, ainsi que les processus de parole, afin de mettre en évidence d'éventuelles difficultés sur certains phonèmes ou combinaisons de phonèmes.

Nous proposons de compléter le bilan par la passation d'autres épreuves mettant le patient en situation émotionnelle défavorable, suffisamment courtes et guidées pour permettre une analyse des imprécisions et disfluences d'après l'enregistrement de la parole du patient. L'épreuve de la présentation courte se rapproche de celle décrite en table 6 [Rito 2016] sous l'appellation monologue. Elle a l'intérêt d'impliquer le sujet tout en fournissant un cadre sémantique précis. Le contenu émotionnel est donc plus à risque dans la mesure où le patient doit prononcer son nom et expliquer pourquoi il consulte (plainte). C'est donc une phrase à plus forte implication personnelle que les épreuves de répétition. Le protocole pourrait alors prévoir des épreuves administrées classées par degré d'implication personnelle et si et seulement si le clinicien ne décèle aucune anomalie avec les 3 premières épreuves.

La dernière épreuve permettrait de repérer des bégaiement légers ou bégaiement dits masqués car la consigne étant très ouverte avec absence de cadre, le sujet peut ressentir un stress plus important (figure 41). Le fait de devoir parler de ses émotions en lien avec son trouble peut aussi amener à produire des disfluences pouvant être considérées comme pathologiques. L'analyse de l'aspect phonologique peut aider le clinicien à différencier un bégaiement d'un bredouillement suivant que les altérations concernent davantage l'aspect phonologique ou l'aspect fluence.

<i>Epreuves</i>	<i>Consigne</i>	<i>Degré d'implication du sujet</i>	<i>Présence d'un cadre/modèle</i>	<i>Occurrence de situation</i>
<u>Répétition d'une phrase</u>	Vous allez répéter la phrase « <i>Bonjour Monsieur Tralipau</i> » du mieux que vous pouvez	Faible	Facilitateur	faible
<u>Répétition du Pataka</u>	Vous allez répéter la série « <i>Patakapatakapata....</i> » du mieux que vous pouvez en prenant une bonne inspiration. Je vous fais signe quand vous pouvez arrêter.	Faible	Facilitateur	Très faible
<u>Présentation</u>	Vous allez dire « <i>Bonjour, je m'appelle j'aiâge et je viens chez l'orthophoniste parce que</i> »	Important	Non facilitateur à cause du prénom et du mot complexe « orthophoniste »	Assez fréquente
<u>Parler de son bégaiement (consigne adulte)</u>	Parlez-moi de votre bégaiement	Maximal	Pas de cadre ni modèle Question ouverte	Assez fréquente
<u>Récit de la journée (consigne enfant)</u>	Raconte-moi ce que tu as fait...	Important	Question ouverte	Fréquente

Figure 41 : Protocole et consignes proposés selon le degré d'implication personnelle, le cadrage et la fréquence d'occurrence de la situation.

L'objectif final est de proposer un protocole court et efficace qui évite de soumettre les sujets bégaiers à un grand nombre d'épreuves éprouvantes pour eux. Les outils développés dans Diadolib permettent d'effectuer un bilan objectif et précis des disfluences et de faciliter l'analyse, le traitement, la caractérisation du bégaiement et ce dans un temps compatible avec une pratique clinique. L'analyse du discours pourra se faire selon les mêmes approches de codage des disfluences et de leur sévérité associée, le but étant de comparer les progrès du patient avant/après prise en soin de la fluence.

Le bilan permet également d'identifier des axes thérapeutiques à investir plus particulièrement avec chaque patient, ce qui est facilité avec l'outil informatisé. Il est possible de s'appuyer sur la caractérisation des disfluences pour identifier quel aspect de la parole est le plus altéré chez le patient et ainsi prévoir le contenu de la prise en soin. Ainsi, une personne présentant dans sa parole de nombreux « blocages » prolongés (comme l'indiquera l'analyse informatisée) pourra bénéficier d'un travail sur la prise de conscience de la contraction excessive au niveau laryngé et articulo-voix.

Avec un patient présentant plutôt « des pauses inappropriées », on pourra se focaliser sur des exercices permettant d'augmenter le « liant » de sa parole, l'aspect prosodique. En somme, le résultat donné par Diadolab, permettra à l'orthophoniste d'en déduire immédiatement les besoins du patient et donc les lignes directrices de la thérapie qu'il va mettre en place.

Enfin, Diadolab, permet à l'orthophoniste de faire l'évaluation des capacités oro-motrices des enfants présentant un bégaiement mais également de mettre en place des entraînements avec feed-back visuel et auditif ayant pour objectif d'augmenter ces mêmes capacités. Cet axe fait justement partie de certains programmes de rééducation du bégaiement chez les enfants comme c'est par exemple le cas dans le programme des « Demandes & Capacités » (*DCM - Demands and Capacities Model based treatment* [Franken 2007]).

Conclusion

Cette étude a porté d'une part sur l'analyse de la littérature scientifique concernant les différentes métriques d'analyse objective de la parole d'enfants et adultes qui bégaiement, en vue d'une exploitation des indicateurs les plus pertinents dans le contexte du bilan orthophonique. Nous avons notamment étudié les disfluences spécifiques au bégaiement, en tentant d'extraire des méta-analyses des repères de classification en termes de gravité du trouble et des valeurs de référence pouvant être incluses dans un logiciel d'aide au bilan de la fluence. Nous avons étudié en particulier les pauses inappropriées, blocages et répétitions sévères, ainsi que l'allongement inapproprié, que nous avons illustrés en puisant dans différents exemples issus de la clinique orthophonique. Nous avons proposé un codage des disfluences dans DIADOLAB permettant d'impacter le score global de fluence selon le degré de sévérité observé.

Dans une deuxième partie, nous avons construit un corpus d'une cinquantaine de cas de parole normale, bégaiement léger, modéré et sévère, en se focalisant sur deux épreuves : l'une est une répétition de /Pataka/, l'autre la répétition d'une phrase type. Nous avons mis en valeur la pertinence de deux indicateurs de diadococinésie, l'atonie et l'instabilité en puissance en lien avec la sévérité du bégaiement. D'autre part, autant il est difficile de distinguer le groupe témoin du groupe avec bégaiement léger, les disfluences et imprécisions augmentent de manière significative pour le groupe à bégaiement modéré, et se généralisent pour le groupe à bégaiement sévère.

L'analyse de la parole de personnes qui bégaiement au travers d'épreuves courtes, simples à analyser et à exploiter, représente d'une part une aide précieuse à l'évaluation de la gravité du trouble, d'autre part un support objectif et pertinent pour mesurer les progrès en lien avec la prise en charge orthophonique des troubles de la fluence.

Remerciements

Nous saluons aussi les efforts de mise en archive ouvertes d'un très grand nombre de résultats scientifiques, en particulier dans le domaine de la parole, ce qui permet une diffusion très large, simple et sans droit d'accès, autorisant de ce fait des analyses comparatives et méta-analyses qui accélèrent ainsi leur mise en application clinique.

Nous remercions particulièrement les orthophonistes de l'équipe ERU 46 du laboratoire LURCO de l'UNADREO pour la construction d'une base de données de parole pathologique et pour les échanges en lien avec la pratique clinique, notamment dans le domaine de la dysarthrie, du bégaiement ou des retards et troubles de la parole chez l'enfant. Nous remercions notamment Ariane MARCHIKA,

Sandrine MICHEL et Sophie DUC pour l'enregistrement de cas de bégaiement, ainsi que Tiphaine BARDELANG pour la construction d'un corpus de 80 enfants normo-phoniques.

Enfin, nous remercions l'ensemble des orthophonistes, étudiants et chercheurs qui nous ont accordé leur confiance en utilisant nos méthodologies, approches et outils dans le cadre de leur pratique clinique ou de leurs travaux scientifiques.

A propos des auteurs



Etienne SICARD est professeur à l'INSA Toulouse en électronique, informatique et traitement du signal. Il est directeur de recherches de l'équipe ERU 46 sur la parole pathologique au Laboratoire LURCO et chercheur associé à l'IRIT dans le cadre du projet ANR Voice4PD sur le

diagnostic différentiel des Syndromes Parkinsoniens.

Etienne SICARD est co-auteur des logiciels VOCALAB et DIADOLAB pour le bilan et la rééducation orthophonique de la voix et la parole, ainsi que de MICROWIND et IC-EMC en lien avec la conception des circuits intégrés. Il a co-écrit une vingtaine d'ouvrages et plus de 200 publications scientifiques dans le domaine de l'analyse de la voix et parole, des circuits intégrés, et de la compatibilité électromagnétique. Il a été nommé en 2006 *Distinguished Lecturer* de la société savante IEEE.

Site : www.etienne-sicard.fr

Email : etienne.sicard@insa-toulouse.fr



Anne MENIN-SICARD est orthophoniste et titulaire d'un master recherche en Sciences du langage de l'université de Grenoble. Elle a exercé en libéral à Toulouse de 1994 à 2015. Anne MENIN-SICARD est co-auteur des logiciels VOCALAB et DIADOLAB.

Dans le cadre de AMS Formation, elle organise et anime des formations aux orthophonistes sur le bilan et la prise en charge de la voix et parole pathologique. Elle a fondé en 2019 Opop, pour la formation en ligne personnalisée à destination des orthophonistes. Chercheuse associée à l'ERU 46 du LURCO, elle développe des outils de mesures objectives et de rééducation de la parole en lien avec le logiciel DIADOLAB. Elle est auteur d'un ouvrage sur l'évaluation objective de la voix (DeBoeck, 2017) ainsi que de nombreuses publications dans le domaine de la voix et de la parole pathologique.

Site : <https://www.formationsvoixparole.fr>

Email : anne.sicard2@orange.fr



Océane BARBERA est orthophoniste, formatrice et enseignante à l'université. Membre du laboratoire de recherche LURCO dans l'équipe ERU 15 (voix pathologique) puis dans l'ERU 46 (parole pathologique), elle exerce en cabinet libéral à Lyon, avec une

orientation vers la prise en soin des troubles de la voix et du bégaiement. Elle a été en poste en maison de santé à Villefranche sur Saône en prévention des troubles du langage chez le petit enfant. Elle intervient aussi à l'Ecole d'Orthophonie de Lyon dans l'UE dédiée à la voix et à la parole et dirige des mémoires de recherche dans ces domaines.

Email : oceanebarbera@gmail.com

Glossaire

En Français

A1 : allongement peu sévère
A2 : allongement de sévérité modérée
A3 : allongement sévère
B1 : blocage peu sévère
B2 : blocage de sévérité modérée
B3 : blocage sévère
CV : consonne-voyelle
PQB : Personnes qui bégaient
PNF : Personnes normo-fluente
R1 : répétition peu sévère
R2 : répétition de sévérité modérée
R3 : répétition sévère

En Anglais

ADF: Adults fluency disorders
AWS: Adults who stutter
CFD : Childhood fluency disorder
CPS: childhood persistent stuttering
CWS : Children Who Stutter
DAF: Delayed auditory feedback
DCM: Demands and Capacities Model based treatment
DP : Dysrhythmic phonation
OASES : Overall Assessment of the Speaker's Experience of Stuttering
IP : intonation phrase
LDA : Linear Discriminant Analysis
Ip : intermediate phrase
PSS, %SS : percentage syllables stuttered
PAS: Persistent Adult stuttering
PDS : Persistent developmental stuttering
PWS : Persons who stutter
PW : Part-word repetition
PWNS: Persons who not stutter
SES : Speech Efficiency Score
SSR : Stuttering Severity Rating
SLD : Stuttering Like Dysfluencies
SS : Monosyllabic word repetition
SSI : Stuttering Severity Instrument
SVM : Support Vector Machine
TOBI : Tones and Break Indices
WSLD : Weighted Stuttering-Like Disfluency

Références

- [Amir 2018] Amir, O., Shapira, Y., Mick, L., & Yaruss, J. S. (2018). The Speech Efficiency Score (SES): A time-domain measure of speech fluency. *Journal of fluency disorders*, 58, 61-69.
- [Arbisi-Kelm 2005] Arbisi-Kelm, T., & Jun, S. A. (2005). A comparison of disfluency patterns in normal and stuttered speech. In *Disfluency in Spontaneous Speech*.
- [Aumont-Boucand 2019] Aumont-Boucand, V. , & Vincent, E. (2019). *Aider son enfant à parler et communiquer : 50 fiches contre le bégaiement et le bredouillement*. De Boeck Supérieur.
- [Bardelang 2020] Bardelang T. (2020), L'apport d'une phrase supplémentaire au protocole de DIADOLAB3. Mémoire d'orthophonie. Université de Lyon.
- [Beckman 1997] Beckman, M. E., & Ayers, G. (1997). Guidelines for ToBI labelling. The OSU Research Foundation, 3, 30.
- [Bellier 2018] Bellier, J. (2018). Etude des disfluences : caractéristiques et rôle dans la prosodie et le développement syntaxique des enfants bègues et normo-fluents. Mémoire d'orthophonie CCFUO Montpellier.
- [Blanchet & Maza Lizzi 2008] Blanchet I, Maza Lizzi, D. (2008). Analyse du processus de régression du bégaiement chez l'adulte: Etude de trois cas d'adultes porteurs de bégaiement dans le cadre d'une prise en charge par une thérapie cognitivo comportementale de groupe. Univ. Claude Bernard. Mémoire d'Orthophoniste CCFUO Lyon. PDF en ligne depuis le site univ-lyon1.fr
- [Blomgren 1998] Blomgren, M., Robb, M., & Chen, Y. (1998). A note on vowel centralization in stuttering and nonstuttering individuals. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 41(5), 1042-1051.
- [Bloodstein 2008] Bloodstein, O., Ratner, N. (2008), *A Handbook of Stuttering*, sixth ed., Thomson Delmar Learning, New York, 2008.
- [Bruneau-Heudes 2018] Bruneau-Heudes, A. (2018). Prise en charge orthophonique du bégaiement neuro-développemental : Evaluation des pratiques professionnelles lors du bilan. Mémoire d'orthophonie. CCFUO Limoges.
- [Burkhardt 2018] Burkhardt, E. (2018). Étude des phénomènes de liaison et d'enchaînement chez des locuteurs adultes bègues et normo-fluents. Mémoire d'orthophonie CCFUO Tours.
- [Byrd 2012] Byrd, C. T., Vallyly, M., Anderson, J. D., & Sussman, H. (2012). Nonword repetition and phoneme elision in adults who do and do not stutter. *Journal of fluency disorders*, 37(3), 188-201.
- [Choopanian 2019] Choopanian, F., et al. (2019). Evaluating the Word/Non-Word Repetition in Adults With Stuttering Based on Stuttering Severity and Length of Words/Non-Words. *Journal of Modern Rehabilitation*, 13(4), 199-206.
- [Coalson 2019] Coalson, G. A., Byrd, C. T., Treleaven, S. B., & Dang, L. (2019). Segmental and metrical complexity during non-word repetition in adults who stutter. *Clinical linguistics & phonetics*, 33(3), 256-278

- [Dewez 2019] Dewez, G. (2019). Etude comparative des disfluences présentes dans la parole d'enfants tout-venant de 3 ans et 5 ans, Master de Logopédie, Université de Liège.
- [Didirkova 2016] Didirkova, I., Fauth, C., Hirsch, F., Luxardo, G., & Diwersy, S. (2016, July). Disfluences normales vs. Disfluences sévères: une étude acoustique. In JEP-Journées d'Etudes sur la Parole (Vol. 1, pp. 191-199).
- [Dostolava 1966] Dostalova, N., & Dosuzkov, T. (1966). Aspects of the three main categories of neurotic stuttering. *De Therapie Loquelis*, 1, 273–276.
- [Duffy 2012] Duffy, J. R. (2012). *Motor Speech Disorders: Substrates, Differential Diagnosis & management. 3rd Edition*. Elsevier.
- [Estienne 2002] Estienne, F. (2002). Gérer son bégaiement. In A. Van Hout, & F. Estienne (Eds), *Les bégaiements, histoire, psychologie, évaluation, variétés, traitements* (pp.183-212). Liège : Masson
- [Estienne 2016] Estienne, F., & Bijleveld, H. (2016). Evaluer un bégaiement: et son impact dans la vie d'une personne bègue et de son entourage. *De Boeck supérieur*.
- [Franken 2007] Franken, M.C. & Putker-de Bruijn, D. (2007). Restart-DCM Method. Treatment protocol developed within the scope of the ZonMW project Cost-effectiveness of the Demands and Capacities Model based treatment compared to the Lidcombe programme of early stuttering intervention: Randomised trial. PDF online at <https://chemins-de-fluence.com>
- [Franken 2018] Franken, M. C. J., et. al (2018). Recovery from stuttering in preschool-age children: 9 year outcomes in a clinical population. *Journal of Fluency Disorders*, 58, 35-46.
- [Grenier 2020] Grenier C. (2020), Etude comparative de tests phonologiques existants et du protocole d'analyse objective de la parole avec Diadolab : intérêt et limites d'un test court et des mesures objectives d'intelligibilité et de fluence. Mémoire de Master d'orthophonie. Université de Toulouse.
- [Gupta 2019] Gupta, S., Shukla, R. S., & Shukla, R. K. (2019). Literature survey and review of techniques used for automatic assessment of Stuttered Speech. *Int. J. Manag. Technol. Eng*, 9, 229-240.
- [Hakim 2004] Hakim, H. B., & Ratner, N. B. (2004). Nonword repetition abilities of children who stutter: An exploratory study. *Journal of fluency disorders*, 29(3), 179-199.
- [Hall 1999] Hall, K. D., Amir, O., & Yairi, E. (1999). A longitudinal investigation of speaking rate in preschool children who stutter. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42(6), 1367-1377.
- [Hirsch 2008] Hirsch, F., Bouarourou, F., Vaxelaire, B., Monfrais-Pfauwadel, M. C., Bechet, M., Sturm, J., & Sock, R. (2008, December). Formant structures of vowels produced by stutterers in normal and fast speech rates. In 8th international seminar on speech production 8th International Seminar On Speech Production, Dec 2008, France. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00716583>
- [Juste 2012] Juste, F. S., Rondon, S., Sassi, F. C., Ritto, A. P., Colalto, C. A., & Andrade, C. R. F. D. (2012). Acoustic analyses of diadochokinesis in fluent and stuttering children. *Clinics*, 67(5), 409-414.

- [Khodeir 2019] Khodeir, M. S. (2019). Exploring stuttering severity in the Egyptian Arabic speaking children who stutter: A correlation study of Bloodstein classification of stuttering severity and the stuttering severity instrument for children and Adults-Arabic Version. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, 125, 38-43.
- [Krivokapić 2007] Krivokapić, J. (2007). Prosodic planning: Effects of phrasal length and complexity on pause duration. *Journal of phonetics*, 35(2), 162-179.
- [Khara 2018] Khara, S., Singh, S., & Vir, D. (2018, April). A comparative study of the techniques for feature extraction and classification in stuttering. In *2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)* (pp. 887-893). IEEE.
- [Leclercq 2016] Leclercq, A. L. (2016). Mon enfant bégaié: Que faire?. PDF en ligne sur uliege.be
- [Logan 2011] Logan, K. J., Byrd, C. T., Mazzocchi, E. M., & Gillam, R. B. (2011). Speaking rate characteristics of elementary-school-aged children who do and do not stutter. *Journal of Communication Disorders*, 44(1), 130-147
- [MacWhinney 2000] MacWhinney, B. (2000). *The CHILDES Project: Tools for analyzing talk. transcription format and programs (Vol. 1)*. Psychology Press.
- [Malek 2013] Malek, A., Amiri, S., Hekmati, I., Pirzadeh, J., & Gholizadeh, H. (2013). A comparative study on diadochokinetic skill of dyslexic, stuttering, and normal children. *International Scholarly Research Notices*, 2013.
- [Mansson 2000] Månsson, H. (2000). Childhood stuttering: Incidence and development. *Journal of fluency disorders*, 25(1), 47-57.
- [Manning 2013] Manning, W., & Beck, J. G. (2013). The role of psychological processes in estimates of stuttering severity. *Journal of fluency disorders*, 38(4), 356-367.
- [Menin-Sicard 2019] Menin-Sicard, A., Sicard, E. (2019). Méthodologie d'évaluation objective de la phonologie, de la fluence et de la prosodie - Vers un bilan rapide à destination des orthophonistes. Journées de Phonétique Clinique JPC 2019, Mons, Belgique. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02127039>
- [Menin-Sicard 2021] Menin-Sicard, A., Sicard, E., Grenier, C., Bardelang, T., Michel, S. (2021). Méthodologie de la segmentation pour l'évaluation objective des compétences phonologiques avec DIADOLAB3. Rapport de recherches LURCO/UNADREO, INSA Toulouse, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03149560>
- [Monfrais-Pfauwadel 2014] Monfrais-Pfauwadel M. C. (2014). *Bégaiement, bégaiements. Un manuel clinique et thérapeutique*. Paris : De Boeck-Solal.
- [O'Brian 2004] O'Brian, S., Packman, A., & Onslow, M. (2004). Self-rating of stuttering severity as a clinical tool. PDF on-line via Research Gate.
- [Parolini & Villoing 2018] Parolini, M., Villoing, A. (2018). *Bégaiement adulte et complexité syntaxique en production*. Mémoire d'orthophonie, Sorbonne Université.

- [Pellowski 2002] Pellowski, M. W., & Conture, E. G. (2002). Characteristics of speech disfluency and stuttering behaviors in 3-and 4-year-old children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*.
- [Pendelieu-Verdurand 2014] Pendelieu-Verdurand, M. (2014). Parole disfluente: aspects phonétiques et phonologiques, thèse de doctorat, Université de Grenoble. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01154620>
- [Rezai 2019] Rezai, H., Torabi, H., Tahmasebi, N., Haghhighizadeh, M. H., Zamani, P., Abdi, F., ... & Mehdipour, Z. (2019). Comparing Speech Rate and Stuttering Frequency During Reading and Monologue Between Subjects With and Without Stuttering. *Journal of Modern Rehabilitation*, 13(3), 153-160
- [Riley 2009] Riley, G., & Bakker, K. (2009). SSI-4: Stuttering severity instrument. PRO-ED, an International Publisher.
- [Ritto 2016] Ritto, A. P., Costa, J. B., Juste, F. S., & Andrade, C. R. F. D. (2016). Comparison of different speech tasks among adults who stutter and adults who do not stutter. *Clinics*, 71(3), 152-155.
- [Sawyer 2008] Sawyer, J., Chon, H., & Ambrose, N. G. (2008). Influences of rate, length, and complexity on speech disfluency in a single-speech sample in preschool children who stutter. *Journal of fluency disorders*, 33(3), 220-240.
- [Sicard 2020] Sicard, E., & Menin-Sicard, A. (2020). La diadococinésie et son application en orthophonie clinique. Rapport de recherches en archives ouvertes. INSA Toulouse, LURCO/UNADREO, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02512856>
- [Sicard 2020b] Sicard, E., & Menin-Sicard, A. (2020). Le triangle vocalique et son application en contexte orthophonique. Rapport de recherches en archives ouvertes. INSA Toulouse, LURCO/UNADREO. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02504513>
- [Sicard 2020c] Sicard, E., & Menin-Sicard, A. (2020). Analyse d'une phrase type dans le cadre du bilan orthophonique de la parole. Rapport de recherches en archives ouvertes. INSA Toulouse, LURCO/UNADREO. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02568392>
- [Sicard 2020d] Sicard, E., Menin-Sicard, A. (2020). DIADOLAB v3.1, Ortho-éditions. Novembre 2020. www.diadolab.org
- [Singer 2020] Singer, C. M., et al. (2020). Clinical Characteristics Associated With Stuttering Persistence: A Meta-Analysis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 63(9), 2995-3018.
- [Starkweather 1987] Starkweather, C. W. (1987). Fluency and stuttering. Prentice-Hall, Inc.
- [Teixeira 2012] Teixeira, J. P., Fernandes, M. G., & Costa, R. A. (2012). Measure and comparison of speech pause duration in subjects with disfluency speech. *Procedia Technology*, 5, 812-819.
- [Valle 2020] Vallé, A. (2020). Etude des disfluences : caractéristiques articulatoires du bégaiement. Mémoire de Master Orthophonie. Université de Montpellier.
- [Van Hout 2002] Van Hout, A. Sémiologies des bégaiements. *Inter-Actions*, 9. Langage & pratiques, 2002, 29, 2-8. arld.ch

[Van Hout 2002] Van Hout, Estienne, F. (2002). Les bégaiements. Histoire, psychologie, évaluation, variétés, traitements. Masson, 2^{ème} édition. ISBN 2-294-01036-1

[Van Riper 1992] Van Riper, C. (1992). The nature of stuttering. Waveland PressInc.

[Vasic 2005] Vasic, N., & Wijnen, F. (2005). 13 Stuttering as a monitoring deficit. Phonological encoding and monitoring in normal and pathological speech, 226. Psychology Press.

[Verdolini 2006] Verdolini, K., Rosen, C. A., & Branski, R. C. (Eds.). (2014). Classification manual for voice disorders-I. Psychology Press.

[Yairi 1999] Yairi, E., & Ambrose, N. G. (1999). Early childhood stuttering I: Persistency and recovery rates. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 42(5), 1097-1112.

[Yairi 2007] Yairi, E. (2007). Subtyping stuttering I: A review. Journal of fluency disorders, 32(3), 165-196.

[Yaruss 2002] Yaruss, J. S., & Logan, K. J. (2002). Evaluating rate, accuracy, and fluency of young children's diadochokinetic productions: a preliminary investigation. Journal of Fluency Disorders, 27(1), 65-86.

[Yaruss 2008] Yaruss, J. S., & Quesal, R. W. (2008). OASES: Overall assessment of the speaker's experience of stuttering interpretive report. Bloomington, MN: Pearson.